

Řídicí systém na drcení plastového odpadu

Control System for Plastic Waste Disposer

Petr Bureš

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Radek Byrtus

Ostrava, 2021

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá modernizací zařízení na drcení plastového odpadu. Úvodní část práce pojednává obecně o programovatelných automatech, kde je následně blíže představen automat využitý v praktické části práce. Teoretická část práce je zaměřena na analýzu samotného zařízení, kde je rozebrána funkce drtiče PR1500 a návrh řídicího systému pro modernizaci. V návrhu systému je znázorněno zapojení systému a popsány veškeré hardwarové úpravy. Návrh řídicího systému dále řeší grafický popis jak celkové funkce zařízení, tak i jednotlivých částí programu. Praktická část se dělí na realizaci řídicího programu dle návrhu a vytvoření vizualizačního systému pro realizovaný řídicí systém. Program je realizován ve vývojovém prostředí *Step7-MICRO/Win*, který je určen pro *PLC Siemens S7-200*. Vizualizační software je realizován v programu *WinCC flexible 2008*, pro HMI typu *TP177 micro*. Ve vizualizačním systému, jsou řešeny informační a ovládací prvky pro obsluhu, ale i nastavovací prvky pro osobu s vyšším oprávněním.

Klíčová slova: modernizace; PLC; recyklace; vizualizace; drtič plastového odpadu; HMI

Abstract

This bachelor thesis deals with the modernization of equipment for crushing plastic waste. The introductory part of the thesis deals with programmable logic controllers in general, where the PLC used in the practical part of the thesis is then introduced in more detail. The theoretical part of the work is focused on the analysis of the device itself, which discusses the function of the PR1500 crusher and the design of a control system for modernization. The system design shows the system connection and describes all hardware modifications. The design of the control system also solves the graphical description of both the overall function of the device and the individual parts of the program. The practical part is divided into the implementation of the control program according to the design and creation of a visualization system for the implemented control system. The program is implemented in the development environment *Step7-MICRO / Win*, which is designed for *PLC Siemens S7-200*. The visualization software is implemented in the *WinCC flexible 2008* program, for HMI type *TP177 micro*. In the visualization system, information and control elements for the operator are solved, as well as setting elements for a person with higher authority.

Keywords: modernization; PLC; recycling; visualization; plastic waste crusher; HMI

Rád bych na tomto místě vyjádřil poděkování všem, kteří mi s prací pomohli, protože bez nich by tato práce nevznikla. Zejména bych pak rád vyjádřil přímé poděkování:

- Ing. Radku Byrtusovi za směřodáté konzultace, věcné podněty, připomínky, vedení a korekturu textu diplomové práce.
- Firmě Puruplast, a.s., za poskytnutou příležitost a prostředky pro vykonání návrhu řídicího systému a jeho následné testování v prostorách firmy.
- Své rodině a přítelkyni za podporu, jenž mi během vypracování prokázali.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	5
Seznam obrázků.....	6
Seznam tabulek	7
1 Úvod.....	8
2 Seznámení se s problematikou PLC a řídicí jednotkou Siemens S7-200.....	9
2.1 Struktura PLC	9
2.2 Vykonávání uživatelského programu PLC	11
2.3 Specifikace pro model S7-200	12
2.4 Vývojové prostředí STEP 7-Micro/WIN	12
3 Analýza zařízení PR1500 pro zpracování plastového odpadu.....	14
4 Návrh řídicího systému pro zařízení PR1500.....	18
4.1 Modernizace zařízení	18
4.2 Blokové zapojení systému	19
4.3 Stavový popis systému	21
4.4 Návrh konkrétních částí programu	23
5 Realizace řídicího systému	29
5.1 Vstupy a výstupy	29
5.2 Realizace SW pro hydraulické rameno.....	30
5.3 Testování realizovaného programu	33
6 Zpracování vizualizačního systému pro řídicí systém	34
6.1 Simatic WinCC 2008 flexible.....	34
6.2 Oprávnění vizualizačního systému.....	35
6.3 Realizace vizualizačního systému	36
7 Zhodnocení a závěr.....	40
Bibliografie	41
Seznam příloh	42

Seznam použitých zkratek a symbolů

PLC	- Programovatelný logický automat
Bar	- Jednotka tlaku
HMI	- Rozhraní mezi člověkem a strojem
SCADA	- Dispečerské řízení a sběr dat
PC	- Osobní počítač
STL	- Strukturovací textový programovací jazyk
CPU	- Centrální procesorová jednotka
SD	- Digitálně zabezpečený
RAM	- Paměť s náhodným přístupem
V	- Jednotka napětí
A	- Jednotka proudu
FBD	- Jazyk funkčních bloků
PPI	- „Point to Point“ sběrnice
W	- Jednotka výkonu
PWM	- Pulzně šířková modulace
STN	- Typ monochromatického displeje z tekutých krystalů s pasivní maticí

Seznam obrázků

Obrázek 1: Struktura programovatelného automatu [9]	9
Obrázek 2: Programový cyklus	11
Obrázek 3: Blokové schéma výroby	14
Obrázek 4: Aglomerát (vlevo) a regranulát (vpravo)	15
Obrázek 5: Náčrt PR1500	16
Obrázek 6: Blokové schéma PR1500	20
Obrázek 7: Výroba nového rozvaděče	21
Obrázek 8: Stavový diagram drtiče PR1500	22
Obrázek 9: Vývojový diagram automatického režimu	24
Obrázek 10: Závislost tlaku ramene na zatížení motoru	26
Obrázek 11: Vývojový diagram režimu přetížení pro drtící rotor	27
Obrázek 12: Výpočet tlaku dle zátěže pro tlačení vpřed	30
Obrázek 13: Tlak hydraulického ramene při vracení	31
Obrázek 14: Přípravek simulující chování PR1500	33
Obrázek 15: Use case diagram pro vizualizační systém	35
Obrázek 16: Hlavní obrazovka vizualizačního systému	36
Obrázek 17: Druhá obrazovka vizualizačního systému	37
Obrázek 18: Nastavování parametrů pro regulační potenciometr	38
Obrázek 19: Závislost tlaku hydraulického ramene na čase	39

Seznam tabulek

Tabulka 1: Zásady vývojových diagramů [4]	23
Tabulka 2: Stavy aglomerační násypky	25
Tabulka 3: Adresované vstupy v systému	29
Tabulka 4: Adresované výstupy v systému	30
Tabulka 5: Části vývojového prostředí Simatic WinCC 2008 flexible [11]	35

1 Úvod

Námět této bakalářské práce vznikl ve spolupráci se společností Puruplast, jež sídlí v Kostalanech nad Moravou. Společnost se zabývá recyklováním plastového materiálu. Recyklace je proces renovace zbytkových nebo odpadních plastů a zařazení materiálu do užitečných produktů. Ve firmě Puruplast recyklace spočívá ve zpracování plastového odpadu do podoby plastových regranulátů a aglomerátů, které jsou následně využity jako vstupní surovina pro výrobce plastových výrobků. Na počátku těchto dvou výrobních procesů se nachází drtič plastového odpadu *PR1500*, který je určen pro zpracování plastového odpadu se specializací na polyethylenové fólie. Drtič po letech funkce začal vykazovat jak softwarové, tak i hardwarové nedostatky, které přinášely problémy celému technologickému procesu. Mezi hlavní nedostatky původního systému se řadil problém efektivity zpracování, kdy každý materiál byl zpracováván jinou efektivitou a nebyl možný žádný způsob jakékoliv regulace výkonu. Vysoká poruchovost zařízení, způsobená hlavně přetěžováním hlavního motoru. Pokud nastal typ poruchy, se kterou byl původní systém obeznámen, došlo sice k vypnutí zařízení, avšak obsluha o ní nezískala žádnou informaci. Mezi další nedostatky k řešení se řadí doplnění možnosti chlazení rotoru nebo řízení rotačního magnetu se vstupním dopravníkem pomocí programovatelného automatu. Tyto nedostatky byly podnětem k zahájení modernizace zařízení.

Modernizace je definována jako vylepšení či přizpůsobení současným požadavkům a znalostem. U zařízení *PR1500* byly požadavky na modernizaci definovány na základě zmíněných nedostatků. Z nedostatků vychází zadání této bakalářské práce. Bylo postupováno v několika krocích. V první řadě zvolením vhodného řídicího systému, který by byl použit jako náhrada za zastaralý řídicí systém *Simatic S5*. Firma Puruplast měla k dispozici již nepoužívaný řídicí systém *Simatic S7-200*. Po specifikování nároků k řešení dané úlohy, bylo posouzeno při celkové analýze zařízení, že tento řídicí systém bude pro řízení zařízení *PR1500* dostačující. Dále bylo cílem analýzy zkonkretizování požadavků k řešení v navrhování systému. V samotném návrhu systému se nejprve řeší způsob nového zapojení zařízení ke zvolené PLC sestavě. Dále obsahuje grafický popis celkového chování zařízení a konkrétních částí programu. Následuje samotná realizace řídicího a vizualizačního systému.

Teoretická část práce pojednává z počátku obecně o programovatelných automatech, kdy je pak blíže představen konkrétní model využitý v rámci praktické části. Dále již se práce zaměřuje konkrétně na jednotlivé kroky v modernizaci zařízení. Kde se nejprve blíže seznamuje se zařízením určeného k modernizaci. V jakém technologickém procesu se nachází, k čemu je určeno, popis jeho jednotlivých částí a obecné vysvětlení jeho funkce. Následně je v práci řešeno blokové schéma zapojení systému již s jistými hardwarovými úpravami. Návrh celkového chování zařízení je vyobrazen pomocí stavového diagramu, ze kterého se odráží následné návrhy konkrétních částí programů. Ty byly vytvořeny pomocí vývojových diagramů, kde už jsou popsány jednotlivé kroky programu.

Praktická část práce je rozdělena na dvě části. První se věnuje realizaci řídicího systému pro drtič *PR1500* dle jednotlivých návrhů. Software řídicího systému byl realizován ve vývojovém prostředí *Step7-Micro/WIN* programovacím jazykem LADDER pro nově zvolenou PLC sestavu. Druhá část praktické části je vizualizace, která byla navržena pro dotykový panel *TP177 micro*. Ve vizualizaci se řeší dva stupně oprávnění k přístupu k jednotlivým funkcím, informativní prvky určené výhradně pro obsluhu drtiče nebo nastavování určitých parametrů zařízení pro oprávněnou osobu.

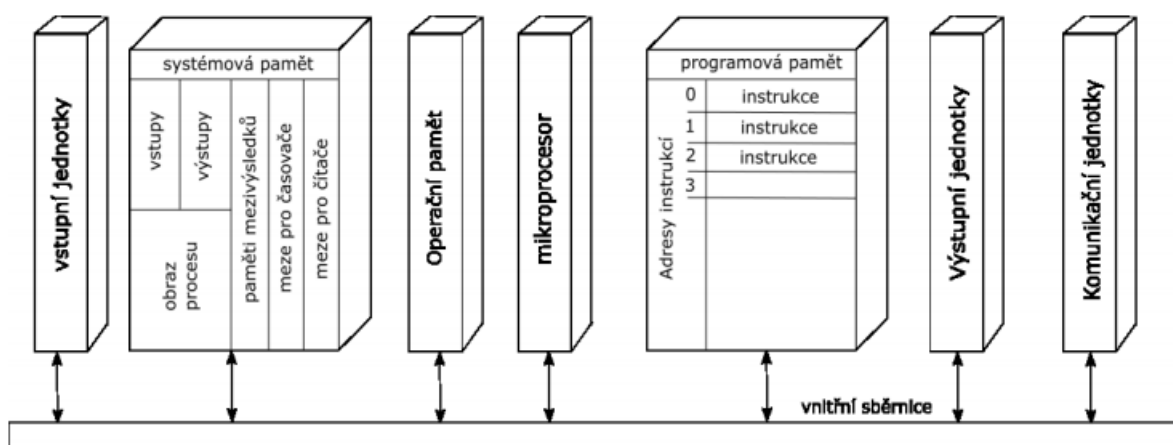
2 Seznámení se s problematikou PLC a řídicí jednotkou Siemens S7-200

Zkratka PLC pochází z anglického Programmable Logic Controller. V češtině se můžeme setkat s označením programovatelný logický automat nebo je programovatelný automat. Programovatelný logický automat je uživatelsky programovatelný řídicí systém přizpůsobený pro řízení průmyslových a technologických procesů nebo strojů. Závislost mezi vstupy a výstupy je dána právě aktuálním uživatelským programem, který je nahráný v programovatelném automatu. U starších typů či menších systémů se používá převážně pro úlohy logického typu. Programovatelný logický automat umožnil vytlačení centralizovaného řízení pomocí řídicích počítačů, které měly značné nevýhody vůči PLC. Z počátku programovatelné logické automaty zaostávaly, co se týče softwaru, za řídicími počítači, nicméně se postupem času dostaly na stejnou úroveň uživatelského přístupu. Navíc mají spoustu výhod, jako je vysoká spolehlivost, snadná údržba, vysoká stabilita operačního systému, modulární struktura a nižší náklady. Jako další důvody, proč využívat PLC v oblasti automatizace, jsou rychlá realizace a diagnostika. Dále možnost úpravy uživatelského programu uloženého v programové paměti, která u pevně nastavených řídicích systémů není možná.[5]

U automatizační techniky se předpokládá, že bude sloužit spolehlivě i v drsných průmyslových podmínkách, to PLC systémy pro průmyslové aplikace do velké míry splňují. PLC jsou konstruovány pro maximální odolnost proti rušení a jejich poruchovost bývá zanedbatelná. Poruchovost samotných periférií bývá nad samotnou poruchovostí PLC. Programovatelné automaty bývají vybaveny i vnitřními diagnostickými funkcemi. Ty kontrolují činnost systému, lokalizují a bezpečně ošetřují nalezené závady. Jedna z hlavních předností programovatelných logických automatů je také rychlá realizace systému. Rozhodně stojí za zmínku i schopnost komunikace s nejrůznějšími systémy pomocí různých komunikačních portů.

2.1 Struktura PLC

Struktura programovatelného logického automatu je podobná struktuře mikropočítače. Základem programovatelných automatů je centrální jednotka, která slouží ke zpracování informací, systémová a operační paměť a soubor vstupních, výstupních a komunikačních jednotek. Veškeré funkční bloky jsou propojeny systémovou sběrnici, která umožňuje vzájemnou komunikaci.



Obrázek 1: Struktura programovatelného automatu [9]

2.1.1 Centrální procesorová jednotka

Centrální procesorová jednotka neboli CPU, je základ celého programovatelného automatu. Obsahuje jeden či více mikroprocesorů, podle způsobu provedení, které postupně zpracovávají jednotlivé instrukce programu a další integrované obvody potřebné ke správnému vykonávání uživatelského programu ovládání logiky, komunikace a monitorování procesu. Velmi důležitým parametrem je rychlost provádění uživatelského programu, udává se v mikrosekundách za určitou instrukci nebo dobou cyklu, což je čas zpracování tisíce logických instrukcí. Tím se nejčastěji posuzuje výkonnost programovatelného automatu. [5]

2.1.2 Paměť PLC

Paměť u programovatelného automatu se dělí na systémovou paměť, ta bývá z pravidla integrována na CPU a nedá se rozšířit. Využívá se k uložení systémového programu, registrů nebo operandů pro časovače nebo čítače. Dále slouží pro uchování lokálních dat nebo zobrazení procesů vstupu a výstupu. V uživatelské paměti se nachází uživatelský řídicí program, velikost paměti se pohybuje v rozmezí desítky kB až po jednotky MB. U rozsáhlých systémů, kde se předpokládá možná potřeba pracovat s větším množstvím dat, bývá možnost pro vložení paměťové karty. [5]

Ačkoliv lze program ukládat do pamětí typu flash nebo SD karty, které nepotřebují pro uchování informace baterii, rychlost výměny dat je příliš pomalá na to, aby byla použita pro skutečné propojení programu s jeho daty. K tomu slouží energeticky závislá takzvaná operační paměť. Podobně jako systémová paměť bývá integrována na CPU, není tedy rozšiřitelná. Přístup k operační paměti je prováděn mnohem rychleji než k systémové nebo uživatelské paměti. Dále je nutné, aby měla možnost zápisu i čtení, jsou tedy realizovány jako paměti typu RAM. Po spuštění PLC se do ní zavede uživatelský program společně s pracovními daty, které se následně zpracují. Obsah operační části paměti se dynamicky mění působením uživatelského a systémového programu. Paměť ztrácí informaci po odpojení napájení. [5][8]

2.1.3 Interface jednotka

Slouží pro komunikaci mezi PLC, s vizualizačními systémy, se souřadnými či nadřazenými systémy, nebo s moduly. Díky tomu můžeme vytvářet distribuované řídicí systémy. Taky slouží pro připojení k PC a nahrávání samotného uživatelského programu do programovatelného automatu. Používají se různá komunikační rozhraní, v dnešní době se však většinou používá ethernetová komunikace.

2.1.4 Vstupy a výstupy PLC

Z logických vstupů i výstupů získáváme binární hodnoty, což znamená hodnoty dvouhodnotového charakteru, jako jsou tlačítka, senzory a podobně. Jsou to galvanicky oddělené obvody, ve kterých je zakomponovaná ochrana proti rušení a přepětí. Stejnosměrné vstupy jsou realizovány v rozsahu 5–48 V, se společným vodičem kladné nebo záporné polarity. Ačkoliv méně často, používají se i vstupy pro střídavé napětí, mají rozsah 24–230 V. Prahové hodnoty pro vstupní signál udávající logickou 1 i 0, jsou dány v technické dokumentaci určitého modulu. Pokud je hodnota vstupního signálu mezi těmito hodnotami, jedná se o nestabilní stav.

Rovněž u logických výstupů je realizováno galvanické oddělení a jsou řešené pro stejnosměrné i střídavé napětí, se stejnými rozsahy jako v případě logických vstupů. Z pravidla pro evropské země jsou realizovány o velikosti 24 V. Avšak pro spínání vyšší zátěže jsou dostupné v sortimentu i periferie

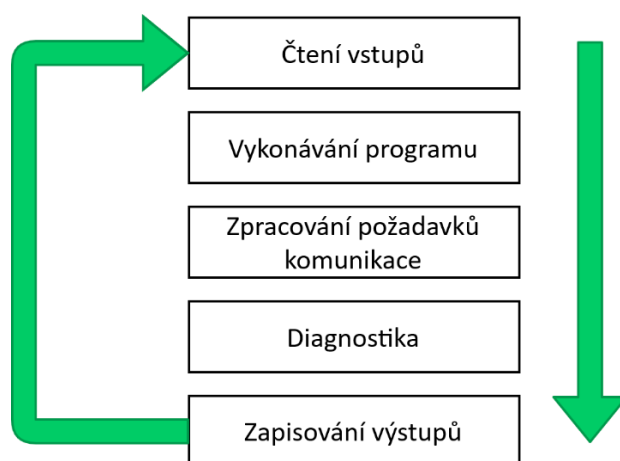
specializující se pro tuto činnost. Výstupní signál pracuje ve dvou stavech *zapnuto* a *vypnuto*, není povolen žádný mezní stav. Tato jednotka slouží k řízení akčních členů v technologickém procesu či stroji. Bývají provedeny buď pomocí tranzistorů, triaků, nebo relé v různých napěťových variantách.

Analogové vstupy jsou řešeny pomocí A/D převodníků, kterými převádíme analogový signál na číselnou hodnotu. Rozsah a přesnost závisí na zvoleném typu A/D převodníku. Chyba analogové hodnoty, bývá ve většině případech zanedbatelná. Pomocí analogových vstupů lze řešit monitorování zatížení motoru, měření tlaku, hustoty či jiné fyzikální veličiny, což je realizováno snímacím členem, ten následně zmíněnou veličinu převádí na elektrický signál, se kterým dále PLC umí pracovat. Standardně se využívají napěťové signály v rozsazích 0 až 10 V nebo -10 V až 10 V. Využívají se taky proudové signály, ty mají obvykle rozsahy 0 až 20 mA, 4 až 20 mA nebo -20 mA až 20 mA. V sortimentu se nacházejí také analogové jednotky již speciálně vyvinuté pro termočlánky, termometry a podobně.[5]

Výstupní analogové jednotky jsou realizovány pomocí D/A převodníků. Ty převádějí číselnou hodnotu z PLC na kvantovaný signál neboli danou napěťovou či proudovou hodnotu, dle nastavení jednotky. Tyto signály se následně využívají k řízení technologických procesů při použití vhodných akčních prvků. Jedná se o řízení rychlosti motorů nebo proporcionálních ventilů. Stejně jako u analogových vstupů se používají stejné rozsahy i přesnost, které závisí na zvoleném typu D/A převodníku.

2.2 Vykonávání uživatelského programu PLC

Uživatelský program je zpracováván v tzv. programovém cyklu, můžeme se setkat také s názvem *PLC scan*. Tento cyklus se opakuje několikrát za sekundu. Na začátku programového cyklu automat vyčte hodnoty ze vstupních jednotek, které se zapíší do vnitřní paměti RAM. Hodnoty uložené v paměti nazýváme obrazy vstupů. Poté následuje vykonání řídicího programu, který určí hodnoty výstupů a zapíše do paměti. Ty označujeme jako obrazy výstupů. V další fázi automat zpracovává veškeré zprávy přijaté z komunikačního rozhraní a následuje diagnostika, ve které se automaticky zkontroluje, jestli se nevyskytuje porucha v CPU a všech rozšiřujících modulů. Na konci programového cyklu se na výstupy zapíší obrazy výstupů. [1][2]



Obrázek 2: Programový cyklus

Pro vyjasnění vykonávání uživatelského programu, je nutno vysvětlit pojem obraz vstupu a výstupu. Pro program PLC je typické, že nepracuje s aktuálními hodnotami vstupů a výstupů, nýbrž s hodnotami uloženými v registrech. Aktualizace hodnot proběhne vždy pouze v jedné části zmíněného

programového cyklu, kdy vstupní obrazy se zapisují na začátku *PLC scanu* a výstupní obrazy v jeho finální části. Tím je zajištěna synchronizace jak vstupních, tak i výstupních dat PLC. Zamezuje se tak možným chybám, které by mohly vzniknout měnícími se hodnotami. [5]

Programový cyklus taky umožňuje přerušení provádění rozpracovaného programu, vykonání obslužné rutiny a vrácení v programu na místo, ve kterém došlo k přerušení. Podnět pro zahájení přerušení je, typicky vnější asynchronní událost, kterou je nutné zpracovat. Každé přerušení má svoji prioritu, ta je přiřazena z důvodu, kdyby v jednom okamžiku se vyskytlo více požadavků na různá přerušení. Průběh přerušení, je tedy možné přerušit přerušením s vyšší prioritou. O zpracování přerušení se stará CPU, které řadí přerušení dle priority a doby přijatého požadavku.

2.3 Specifikace pro model S7-200

Simatic S7-200 je kompaktní PLC, vyráběné německou firmou Siemens. Firma Siemens v dnešní době patří mezi hlavní dodavatele automatizační techniky. Řada S7-200 spadá do kategorie mikrosystémy. Spadá mezi logické moduly *LOGO!*, využívané pro jednoduchá řešení úloh a robustní řídicí systémy řad S7-300 a vyšší, které se využívají komplexní úlohy. Existují různé modely S7-200, které se liší různými parametry či schopnostmi. Je důležité vybrat model vhodný pro specifickou aplikaci, kterou bude PLC vykonávat. Krom několika typů základních jednotek řada *Simatic S7-200* nabízí i spoustu rozšiřovacích modulů, kterými do S7-200 přidáváme další funkce. Dělíme je do čtyř kategorií: analogové, digitální, komunikační a speciální rozšiřující moduly. [11]

Programovatelný automat má možnost pracovat ve třech režimech. Dva základní režimy *RUN*, *STOP* a režim *TERM*, který slouží pro ovládání, editování a monitorování programu pomocí vývojového prostředí *STEP 7-Micro/WIN*. Režim *STOP* je využíván jak pro vytváření nebo editaci programu, tak i pro jeho přenos mezi počítačem a programovatelným automatem. Režim *RUN* můžeme nazývat provozní režim PLC. V tomto režimu je vykonáván program, automat sleduje signály na vstupech a dle uživatelského programu reaguje přiváděním impulsů na výstupy. Před samotným startem uživatelského programu, se při přepnutí do režimu *RUN* vykoná startovací rutina. [11]

Automat komunikuje pomocí komunikačního protokol PPI, který vychází ze standardu IEC 61158-4-3 a je speciálně navržen pro systém S7-200 společnosti Siemens. Provádí operace pro zápis i čtení v PLC. Rychlost sítě je volitelná od 9,6Kbit/s až po 187,5Kbit/s. Počet účastníků je omezen na 128, číslováno 0-127. Jako přenosová technologie může být použit přenosový komunikační standard RS485. PPI je protokol typu master-slave. Master zařízení posílají instrukce slave zařízením, které následně reagují. Slave zařízení negenerují zprávy, pouze čekají na instrukce od master zařízení. Master komunikuje prostřednictvím sdílených připojení, které jsou spravovány PPI protokolem. Tento protokol neomezuje počet masterů, které mohou komunikovat se zařízením slave, není však možné instalovat více jak 32 masterů. [7]

2.4 Vývojové prostředí STEP 7-Micro/WIN

STEP 7-Micro/WIN je programovací software pro PLC řady S7-200 od společnosti Siemens. *STEP 7-Micro/WIN* je připojen k PLC pomocí programovacího kabelu. Posílá informace přes sériový port a ověřuje korektnost zmíněných informací. Pokud se chceme zabývat automatizační technikou, je pro nás vývojový software pro PLC základ pro zprovoznění řídicího systému. Pro programovatelné automaty *Simatic S7-200* je určené prostředí *STEP 7-Micro/WIN*. Zvolením správného typu CPU, komunikačního

rozhraní a konfigurace ovladače, nic nebrání počítači s automatem, aby mohly mezi sebou komunikovat. Vývojové prostředí je rozděleno na jednotlivé položky.

Programový blok slouží k vytváření a editování programů, jeho součástí je knihovna instrukcí, která je velmi přehledná a lze s ní dobře manipulovat. Programový blok nabízí editory pro tři jazyky, mezi kterými lze jednoduše přepínat. Jedná se o jazyky STL, LADDER a FBD. Takzvaný *Main program* je organizační blok OB1, který CPU vždycky vykoná. Začíná od prvního řádku a postupně se dostává na konec OB1. Jakmile se dostane na konec OB1, CPU zavolá operační systém, který vykoná operace, které již byly zmíněny, při popisování programového cyklu. Následně je opět zavolán programový blok OB1. Chyby a přerušení mohou pozastavit vykonávání programu. Přerušení mohou vycházet z procesu, tzv. hardwarové přerušení, nebo vychází z CPU např. watchdog, aktualizace času a podobně. Program můžeme rozdělit do tolika bloků, kolik jen chceme pro co nejvyšší přehlednost a srozumitelnost programu.[1][2]

V programu pracujeme s adresami, v tabulce symbolů přiřazujeme symbolické názvy vstupům, výstupům a proměnným. Na přiřazené názvy se poté odkazujeme při vytváření programu, smysluplné názvy nám umožní lepší orientování v programu. Ve vývojovém softwaru máme dva typy symbolických tabulek. Globální, kde definujeme proměnné pro celý program a lokální symbolickou tabulku pro každý blok programu. Jednotlivá proměnná musí mít přiřazený unikátní název, typ a datový typ. Pracujeme s proměnnými datových typů BOOL, BYTE, WORD, DOUBLEWORD a CHAR. V datovém bloku nalezneme uchované hodnoty, které lze použít pro definování počátečních stavů.

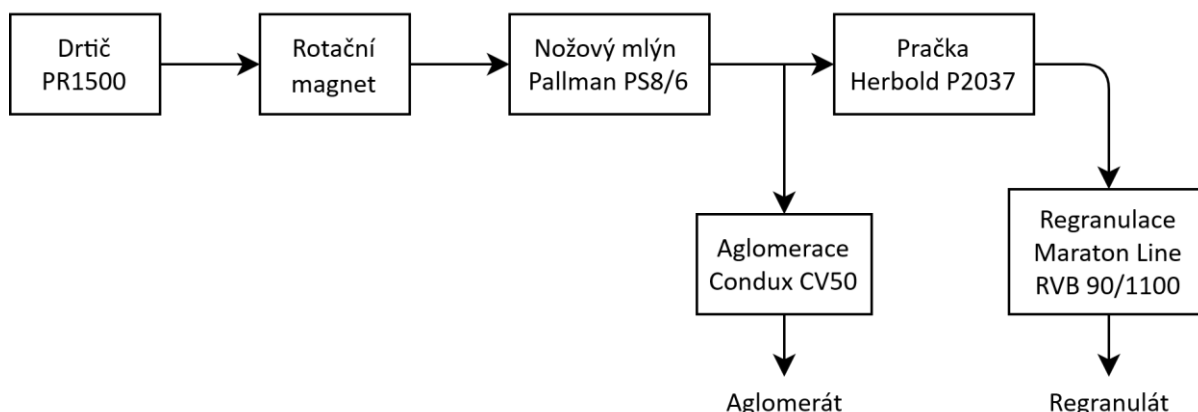
Ve vývojovém prostředí, můžeme při testování programu používat stavový diagram. Ten slouží k monitorování hodnot proměnných. Hodnoty se zobrazují v grafickém diagramu v závislosti na čase, nebo přímo v LADDERu. Pro využití této funkce je nezbytné, aby program v automatu a v prostředí *STEP 7 - Micro/Win* byly totožné. [1][2]

3 Analýza zařízení *PR1500* pro zpracování plastového odpadu.

Od roku 1995 je drtič *PR1500* ve firmě Puruplast hlavní článkem dvou technologických procesů, zaměřených na recyklaci plastového materiálu. Slouží pro prvotní nadrcení plastového odpadu, který je následně dopravován dále do zvoleného technologického procesu. Procesy, ve kterých se drtič *PR1500* nachází, se nazývají aglomerace a regranulace. Ty jsou zavedeny z důvodu dosažení plastového odpadu do hutnější formy, což zabraňuje vytváření dopravních problémů při následném využívání plastových odpadů pro výrobu nových produktů.

Aglomerace vyrábí tzv. plastový aglomerát. Plastové aglomeráty jsou produktem složitého recyklačního procesu plastových odpadů ve formě fólií, vláken a textilií. Aglomeráty se využívají především jako materiál pro výrobu ekologických zatravnovacích tvárnic. Výroba aglomerátů pomáhá uchovávat životní prostředí a je důkazem smysluplného využití odpadu jako druhotné suroviny. Aglomerace je méně energeticky náročná, ovšem výstupní kvalita produktu je velmi závislá od kvality vstupního materiálu. V procesu regranulace se finální produkt nazývá regranulát. Jelikož prochází separací nečistot, tak je velmi kvalitní a žádanou vstupní surovinou pro výrobce plastových výrobků využitím technologií jako je vyfukování, vytlačování a vstřikování. Kvalita regranulátů v současné době dosahuje takové úrovně, že jej lze použít jako vstupní surovinu, téměř na jakýkoliv plastový výrobek.[12]

Jelikož se špatně pracuje s materiálem větších velikostí, je nutné ho nejprve nadrtit na menší kusy. K této činnosti je určen pomaloběžný mlýn neboli drtič *PR1500* se specializací na polyethylenové fólie. Odpadní PE fólie určená ke zpracování se pomocí pásového dopravníku dopraví do drtiče *PR1500*. Zpracovaný materiál dopadá v podobě nasekané plastové fólie ve frakci 5-10 cm na výstupní pásový dopravník, nad kterým je umístěn rotační magnet. Ten má za úkol zachytit veškeré kovové kusy obsažené v plastových fóliích, to je velmi podstatná věc, protože dále následuje vysokootáčkové drcení a nějaký kov obsažený v materiálu by znamenal výměnu nožů, nebo v horším případě odstavení linky a velmi nákladnou opravu. Vysokootáčkové drcení vykonává nožový mlýn *Pallman PS 8/6*, který nadrtí fólii na menší kusy, konkrétně frakci 1-5 cm. Veškerá další doprava materiálu je prováděna pneumaticky pomocí ventilátorů. Tyto operace jsou totožné v obou technologických procesech, následující technologický postup se dělí na výrobu aglomerátu a regranulátu.



Obrázek 3: Blokové schéma výroby

Pokud je nastaven technologický proces aglomerace, je materiál dopravován z nožového mlýnu do vstupní násypky aglomerátoru *Condux CV50*, kde díky využití principů vzestupu směšovací entalpie

a změny směšovací entropie jsou vytvořeny, vlivem otáčivého pohybu molekul, provazce neboli aglomeráty. Provazcové shluky materiálu se poté melou v nožovém mlýně *Zerma GS 560/700* na kusy o rozměrech 3 až 6 mm.

Pro výrobu regranulátu je nutné nejprve plastovou fólii vyprat, aby byla zbavena přebytných nečistot. Proto nadrcená fólie putuje do pračky *Herbold P2037*, kde se mácháním ve vodě zbaví větší části přebytných nečistot. Vypraná a vyždímaná fólie je dopravována do zásobníku, odkud je odebírána regranulační linkou *Marathon Line RVB 90/1100*. V lince se ještě stále plastová fólie roztaví na homogenní plastovou směs a pomocí šneku se přes filtrační sítko za pomoci tlaku až 200 barů protlačí do vytlačovací hlavy, kde se naseká na kousky velikosti 3-6 mm. Je nutné, aby proces sekání ve vytlačovací hlavě probíhal pod vodou, protože regranulát je stále roztavený, velmi snadno by se slepil k sobě. Výsledkem jsou granule, které tvarem i velikostí připomínají čočku. Ty jsou následně dopravovány do big begů a dodávány zákazníkům.



Obrázek 4: Aglomerát (vlevo) a regranulát (vpravo)

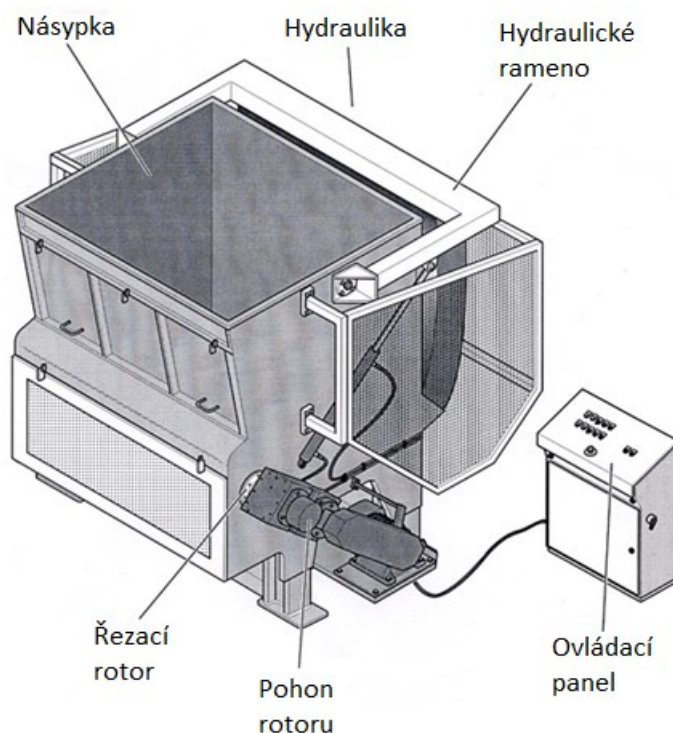
Hlavní částí PR1500 jsou dva 37 kW motory, které pohánají rotor s drtícími noži. Motory jsou zapojeny přes softstartér, aby se předešlo proudovému a mechanickému rázu. Po hladkém rozjezdu motoru softstartér sepne výkonový stykač, tím softstartér odstaví, aby nebyl zatěžován po celou dobu funkce zařízení. Výkonový stykač by-passu je opatřen pomocným kontaktem, který dává informaci programovatelnému automatu, že motor již není zapojen přes softstartér. Tato informace znamená, že mlýn úspěšně nastartoval a může začít pracovat. Zatížení motoru se měří pomocí proudového převodníku 0-75 A/0-10 V.

Aby se dopravený plast dobře a efektivně nadrtil, je potřeba ho vystavit určitému tlaku. K tomu slouží rameno, které je ovládáno hydraulickými písty. Tlak do pístů je dodáván z hydraulického agregátu ventilem, který je řízen přes proporcionální kontrolér, ten pracuje na principu PWM regulace. Kontrolér je ovládán programovatelným automatem, pomocí rozšiřujícího analogového modulu EM 235, který obsahuje analogový výstup, nastavený na hodnotu 0-20 mA. Podle přiváděného proudu z programovatelného automatu se na jeho výstupu mění střída, podle které se spíná zmíněný ventil. Maximální hodnota proudu dodávána z analogového modulu programovatelného automatu je 20 mA. Při dodávání této hodnoty kontrolér spíná ventil tak, aby byl dodáván maximální tlak tj. 120 bar. Můžeme tedy říct, že tlak hydrauliky se mění přímo úměrně s velikostí proudu patřičného analogového výstupu. K zjištění koncových stavů ramena jsou nainstalovány indukční snímače. Pokud se nachází

rameno na horním koncovém spínači tak je zařízení v otevřeném stavu. Rameno na dolní koncový spínač značí, že zařízení je v zavřeném stavu.

Vzhledem k těžké výrobě pro snadnou manipulaci zařízení musí být ovládáno tlačítky nebo přepínači. Při navrhování nového ovládání byl požadavek, aby zůstal stejný ovládací panel a rozšířil se o nezbytný počet prvků, z důvodu snazšího zaškolení obsluhy. Ovládací panel se rozšířil o potenciometr k regulaci výkonu mlýnu. Dále se ovládací panel rozšířil o dotykový panel. Ten pro obsluhu vykonává primárně funkci informativní. Většina funkcí slouží k nastavování chodu mlýnu, k těmto funkcím má přístup pouze osoba s oprávněním.

Pro dopravování materiálu slouží dva pásové dopravníky. Na vstupní pásový dopravník obsluha vkládá plastové fólie. Dopravník lze spustit manuálně tlačítkem umístěným na dopravníku. Z pod zařízení vede výstupní dopravník, na který dopadá nadrcená plastová fólie, ta se dopravuje do další části výrobního procesu. Jelikož v plastovém odpadu se mohou ocitnou různé kovové části, které by ohrožovaly výrobní proces, je nad výstupním dopravníkem umístěn rotační magnet. Ten separuje kovové části od nadrceného plastu.



Obrázek 5: Náskres PR1500

Nově je rotační magnet i vstupní dopravník řízen pomocí programovatelného automatu, to znamená že vstupní dopravník bude mít možnost řízení jak manuálně, tak automaticky dle nastavených parametrů. Manuální spuštění rotačního magnetu již nebude možné.

Další novinkou je zakomponování chlazení pomocí vody, aby se zamezilo zatahování plastu na řezacím rotoru. To je provedeno pomocí trysek umístěných přímo nad rotorem, tyto jsou spínány elektromagnetickým ventilem ovládaným z programovatelného automatu. Jeho řízení je na základě teploty pláště rotoru. Měření teploty je provedeno pomocí snímače Pt100. Tím se sníží přetěžování

motoru a špatné drcení plastového odpadu. Zamezí to zbytečným odstávkám zařízení. U původního systému se voda musela přilévat do zařízení manuálně.

Poslední v řadě hardwarových úprav je zakomponování tří vibračních senzorů u aglomerační násypky, které značí hladinu zaplnění. Digitálním výstupem z programovatelného automatu při zvoleném výrobním procesu aglomerace dojde k aktivaci čidel, které následně budou upravovat funkci zařízení dle způsobu naplnění násypky.

4 Návrh řídicího systému pro zařízení *PR1500*.

Při navrhování systému se nestává, že prvotní zadání je konečné. Představy zadavatele, projektanta i programátora se postupně vyvíjí a s nimi i požadavky na celkovou funkčnost systému. Mnohé nedostatky se projeví až při samotném testování, ať už se jedná o chyby v programu nebo návrhu systému. Dodatečné požadavky pro úpravu systému, nebo doplnění dalších funkcí vznikají i po letech rutinního provozu. Vytváření nového systému pro mlýn *PR1500* předcházelo podrobným pozorováním staršího systému. Na jehož základech se vytvořila základní kostra programu. Na kterou se postupným testováním nabalovaly dodatečné požadavky.

4.1 Modernizace zařízení

Prvotní systém byl navržen pro řídicí systém *Simatic S5-95U*. V průběhu let se v systému objevilo několik slabých míst a ty bylo potřeba eliminovat. Jelikož je drtič určen k drcení různých plastových fólií, kde každá má své specifické vlastnosti. Proto je zapotřebí mít u takového typu zařízení možnost úpravy nastavení pro práci a regulaci výkonu. Pokud je zařízení špatně nastaveno, může nastat několik problémů.

- Časté přetěžování motoru, které vede k poruchám zařízení
- Zpracování materiálu neprobíhá požadovanou efektivitou, čímž se snižuje produkce finálního výrobku
- Materiál se zpracovává velmi rychle, kdy nastává zahlcení dalších částí výrobního procesu. To vede k nezbytným odstávkám, což značně snižuje celkovou produkci.

Původní návrh systému měl pouze jedno nastavení nebylo tedy možné reagovat na různé typy fólií ani regulovat výkon. Pro modernizaci byly specifikovány body k řešení.

4.1.1 Regulace výkonu

Modernizace se tedy zahájila hlavně kvůli doplnění možnosti regulace výkonu zařízení. To je řešeno regulačním potenciometrem, kdy se na základě jeho polohy a určitých parametrů nastavuje hodnota analogového výstupu, prostřednictvím kterého je ovládáno hydraulické rameno. Možnost regulace tlaku se tedy provádí přednostně potenciometrem. Ovšem je-li třeba změnit hodnoty pro samotný potenciometr, je možné tak učinit na ovládacím panelu. Parametry se volí pro koncové hodnoty potenciometru, kde závislost mezi nimi je lineární. Určitou hodnotu dále určuje poloha potenciometru. Parametry je možné měnit pro jednotlivé typy fólií k dosažení optimálního nastavení stroje.

4.1.2 Chlazení rotoru pomocí vody

Tato záležitost v původním systému vůbec nebyla zakomponována a musela se celá hardwarově dodělat. Funkce byla realizována na základě dlouholetých zkušeností technologa. Princip spočívá v chlazení zahřátého rotoru vodou. Tím dochází k zabránění připékání plastu ve stroji. Vody ale musí být právě takové množství, aby se v procesu drcení stačila všechna vypařit a tím pádem odebrala co nejvíc energie. K tomu slouží měření teploty v oblasti co nejbližší rotoru. Na základě této informace se nastaví perioda vstřikování. Funkci je možné nastavovat i deaktivovat na ovládacím panelu.

4.1.3 Řízení rotačního magnetu

Zakomponování řízení rotačního magnetu. V původním systému bylo nutné rotační magnet ovládat manuálně. Kdy bylo nutné, aby jednou za čas se magnet protočil, čímž uvolní zachycené kovové předměty. Nastavení magnetu spočívá v určení doby cyklu, za jakou se magnet bude spínat a doby sepnutí.

4.1.4 Rozpoznání prázdné násypky zařízení

To se zaznamenává jednoduchým způsobem pomocí hydraulického ramena. Pokud rameno provede zvolený počet prázdných cyklů, znamená to, že je mlýn prázdný. Program vyhodnotí prázdný cyklus, pokud se dostane hydraulické rameno v rychlém sledu z horní koncové pozice až na spodní koncový spínač. Podle nastavení jsou možné dvě varianty. Mlýn se buďto zastaví a napíše informaci na vizualizační panel *Prázdná násypka* nebo se spustí vstupní dopravník po dobu nastaveného času a začne dodávat plastovou fólii do zařízení.

4.1.5 Hlídání plnosti aglomerační násypky

Rozlišování technologického procesu pro výrobu regranulátu či aglomerátu. Je-li v činnosti proces aglomerace, je třeba aktivovat piezoelektrické senzory, pro měření plnosti v aglomeračním zásobníku. Vzhledem k zaplnění je upravován výkon drtiče v provozním stavu. Kompletním zaplněním zásobníku dochází k zastavení zařízení. K automatickému spuštění dochází po vyprázdnění zásobníku vlivem funkce aglomerátoru, to je detekováno stavem piezoelektrického snímače dolní hladiny.

4.1.6 Poruchový stav

Přidání poruchového stavu je velmi důležitý bod modernizace vzhledem k vysoké poruchovosti zařízení. V programu bylo vytvořeno několik funkcí pro zachytávání různých poruch programu. Jako je nefunkční zadní koncový spínač pro hydraulické rameno. To je řešeno časově, pokud rameno vzad tlačí bez přerušení určitou dobu, aniž by dosáhlo zadního koncového spínače, spustí se poruchový stav. Obdobně je řešen nesepnutý výkonový stykač softstartérem. Další poruchy, co mohou nastat jsou zaseknutí drtícího rotoru nebo neznámý stav aglomerační násypky. Samozřejmostí je taky hlídání všech nebezpečných stavů, hlídání hladiny a teploty oleje, přetížení všech motorů, dopravníků, hydraulického agregátu a magnetu.

4.1.7 Signalizování stavů

Signalizování stavů je provedeno dvěma způsoby. Ve vizualizačním panelu je vždy textovým způsobem označeno, v jakém režimu se zařízení právě nachází, či došlo k prázdné násypce zařízení nebo při vzniku poruchy, konkrétní popis určité poruchy. Druhým způsobem je signalizování základních stavů zařízení pomocí signalizačního sloupku dvou barev. Kde jednotlivé kombinace barev znamenají určitý stav systému.

4.2 Blokové zapojení systému

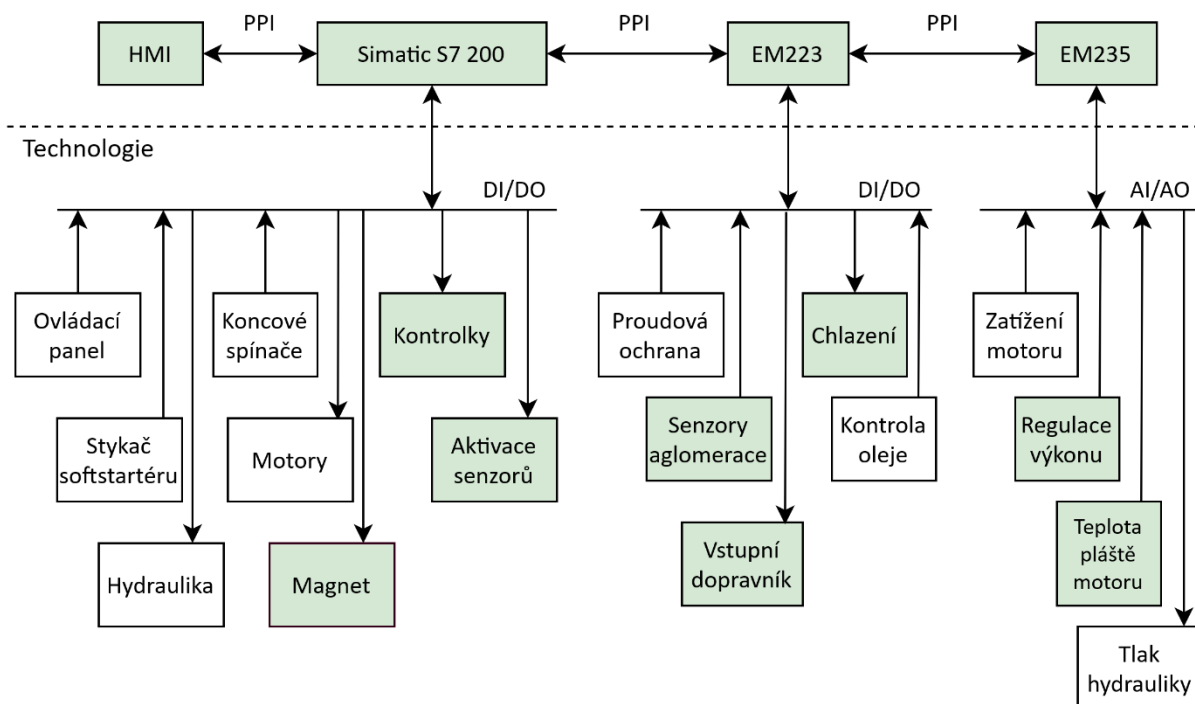
Zapojení technologie drtiče *PR1500* je vyobrazeno pomocí blokového schématu (Obr. 7). Bílé bloky ve schématu, zobrazují technické prvky, které již obsahoval původní návrh systému. Zelené bloky vyobrazují prvky, které prošly hardwarovými vylepšeními nebo jsou nově zakomponovány do systému. Ze schématu je patrné, že v systému proběhlo značné množství úprav i z pohledu hardwaru.

K řízení technologického procesu byl zvolen a následně schválen již zastaralý řídicí systém PLC Siemens S7-200 CPU224XP, který v sobě obsahuje několik nejvýhodnějších vlastností již existujících centrálních jednotek. Byl zvolen z důvodu dostupnosti, veškerých komponentů pro danou úlohu, včetně vizualizačního panelu a vývojového softwaru. Obsahuje svorkovnici s analogovými vstupy a výstupy, dále digitální vstupy a výstupy. Na rozdíl od předchůdce CPU224, obsahuje taky prvky, které umožňují řešit širší rozsah aplikací. Například při pohledu na čelní stranu lze vidět dva konektory pro dvě integrovaná komunikační rozhraní pro zapojení PLC do komunikačních sítí tzn. připojení PC, HMI nebo jiného zařízení komunikujícího po sériové lince. Paměť až 16 kB pro program v případě vypnutí funkce editování v režimu *RUN*, je-li funkce povolena paměť je 12 kB. Rychlost provádění uživatelského programu je 0,22 μ s/instrukci. Malý kompaktní programovatelný automat poskytuje dostatečné množství výkonu i pro větší aplikace. [11]

Dále bylo PLC rozšířeno o rozšiřovací modul *EM223*, který přidává programovatelnému automatu dalších šestnáct logických vstupů a šestnáct logických výstupů. Modulu je přiřazeno sériové číslo 6ES7 223-1BL20-0XA0. Doplněním rozšiřovacího modulu *EM235*, získáváme čtyři analogové vstupy a jeden analogový výstup, tomuto modulu odpovídá sériové číslo 6ES7 235-0KD22-0XA0.

Na komunikační port RS-485, přes komunikační protokol PPI je připojeno HMI, konkrétně grafický dotykový vizualizační panel *TP177 micro*. Součástí dotykového panelu je modro-bílý STN display se čtyřmi stupni modré hladiny. Display má velikost 5,7" a rozlišení 320x240. Obsahuje paměť 256 kB pro uživatelská data. Slouží jak pro signalizaci různých stavů, tak i pro specifikaci programu pro určitou práci. Vizualizační panel bude umístěn na ovládacím panelu zařízení, do kterého bude taky zapojen nový rozvaděč k systému.

Hardwarová konfigurace



Obrázek 6: Blokové schéma PR1500

Do CPU jednotky jsou z větší části zapojeny prvky, na kterých nebyla provedena žádná hardwarová úprava a jsou považovány za základ drtiče. Přičemž na jednotlivé vstupy jsou přivedeny ovládací prvky z ovládacího panelu, stykač softstartéru a koncové spínače hydraulického ramena. Dva digitální výstupy jsou vyhrazeny pro spínání stykačů motorů. Každý stykač spíná motor v jednom směru, oba tyto výstupy v žádném případě nesmí být sepnuté v jeden okamžik. Dále je zde zapojen na digitální výstup hydraulický agregát, signalizační LED diody, aktivace senzorů a rotační magnet. V původním systému, zde ještě bylo zapojeno počítadlo. To bylo ze systému odebráno z důvodu provedení počítadla v softwarové rovině a jeho následném zobrazování na dotykovém panelu.



Obrázek 7: Výroba nového rozvaděče

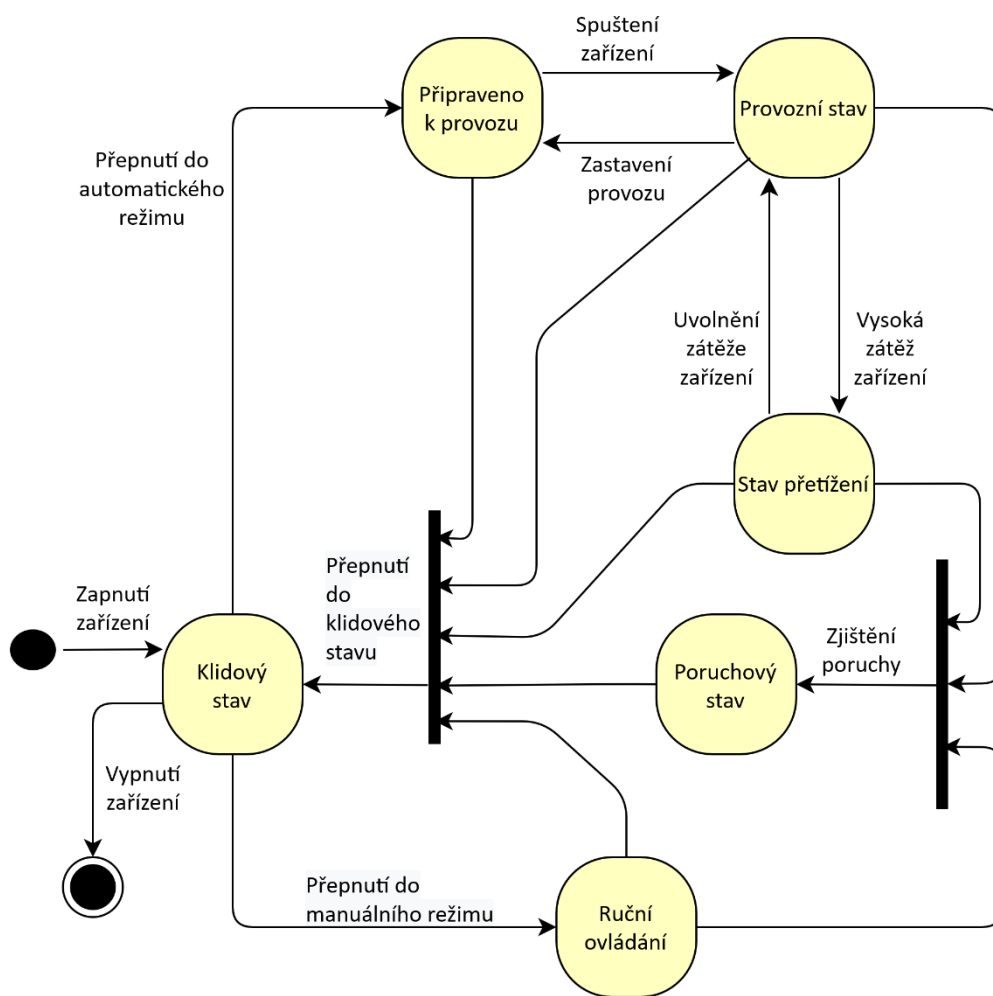
Na rozšiřovacím modulu *EM 223* je využito šest digitálních vstupů. Tím jsou dva ochranné prvky zařízení. Proudová ochrana drtícího rotoru a kontrola oleje, jejímž sepnutím se systém ihned dostává do poruchového stavu, jednotlivé piezoelektrické senzory v aglomeračním zásobníku a tlačítko pro spuštění vstupního dopravníku. Výstupy jsou využity pouze dva pro zapojení elektromagnetického ventilu pro přivádění vody na drtící rotor za účelem chlazení a vstupní dopravník.

Na rozšiřovací modul *EM 235* jsou přivedeny veškeré analogové signály, se kterými se v systému pracuje. Z původního systému zůstává pomocí analogového vstupu monitorování zatížení motoru a jediného analogového výstupu udávání tlaku pro hydraulické rameno. Tyto dvě hodnoty jsou klíčové pro chování zařízení v automatickém režimu. Na další dva analogové vstupy byl zapojen zmiňovaný regulační potenciometr a přes převodník je zapojená Pt 100 pro měření teploty pláště stroje.

4.3 Stavový popis systému

Postup při tvorbě programu začíná analýzou problému. Aby programátor mohl navrhnout algoritmus k řešení úlohy, je nutné nejprve znát zadání do nejmenšího detailu. Následuje sestavení samotného algoritmu. Pokud byla analýza provedena chybně, projeví se to na sestaveném algoritmu. Sestavení programu spočívá v zápisu algoritmu v syntaxi zvoleného programovacího jazyka. Poslední i nejdélší fáze spočívá v odstranění syntaktických a logických chyb. Dochází i ke změnám a úpravě zadání.

Stavové diagramy slouží k abstraktnímu popisu chování systému. Chování se reprezentuje pomocí řady konečných stavů a přechodů, které mohou vzniknout mezi jednotlivými stavy. Čtverce se zaoblenými rohy reprezentují jednotlivé stavy. Šipky představují přechody mezi nimi, každý přechod je popsán popiskem specifikujícím, o jakou akci se jedná pro dosažení dalšího stavu. V počátečním stavu stavového diagramu objekt nestráví žádný čas a je vyznačen černou tečkou. Objekt tedy okamžitě přechází do stavu, do kterého míří šipka přechodu. Tento přechod není nutné popisovat, každopádně ve stavovém diagramu pro drtič PR1500 (Obrázek 8) je popsán. Koncový stav stavového diagramu je označený okem a představuje dokončení činnosti daného objektu. [3]



Obrázek 8: Stavový diagram drtiče PR1500

Po zapnutí zařízení se drtič nachází v klidovém stavu, v tomto stavu nelze stroj v žádném případě spustit. Přepnutí do klidového stavu slouží k okamžitému zastavení všech funkcí stroje nebo resetování poruchového stavu. Tří polohový přepínač určuje stav, ve kterém se zařízení nachází klidový, automatický nebo manuální.

Při přepnutí do automatického režimu je zařízení ve stavu připraveno k provozu. Spuštěním provozu pomocí tlačítka *Start* se zařízení dostává do provozního neboli pracovního stavu. Tento stav obsahuje automatické řízení drtiče, kdy se postupně spínají jednotlivé části zařízení. Jakmile je drtič správně spuštěn, následuje tlačení hydraulického ramene podle zadaných parametrů a aktuální zátěže motoru. Pokud zátěž motoru překoná určitou hranici pro zvolenou dobu. Dostáváme se do stavu, kdy

byl motor přetížen. V tomto stavu se vyvinutý software snaží motoru odlehčit pravidelnou změnou směru otáčení rotoru. Tím dochází k uvolnění namačkaného plastu na rotor a s tím i k poklesu zatížení proudu motorů. Snížením zatížení se program dostává zpět do provozního stavu. Pro zastavení provozu a tedy, i pro návrat z provozního stavu je potřeba zmáčknout tlačítko *Stop*. To spustí vypínací rutinu, která ukončí provozní činnost zařízení.

Pokud polohový přepínač nastavíme na manuální režim, dostaneme program do stavu ručního ovládání, ve kterém lze ovládat jednotlivé části drtiče pomocí tlačítek na ovládacím panelu. To zahrnuje spuštění hydraulického agregátu, výstupního dopravníku nebo ovládání hydraulického ramene a motoru včetně směru.

Do poruchového stavu se zařízení dostane v momentě, je-li programem zjištěna porucha. Ten může nastat z jakéhokoli stavu, ve kterém zařízení vykonává práci. To má za následek automatické zastavení stroje.

4.4 Návrh konkrétních částí programu

Algoritmus je postup vykonání libovolné úlohy. Základní struktury algoritmu jsou posloupnost, větvení a cyklení. Posloupnost je řada navazujících jednotlivých kroků v přesně daném pořadí. Větvení se skládá ze tří částí. Jednoduché algoritmy lze zapsat slovně, ale u složitějších postupů se stávají nepřehledné a nesrozumitelné. Proto se používá grafický způsob zápisu algoritmu. Ty obsahují konkrétní grafické symboly, které již mají předem definovaný význam. Nejrozšířenější formy grafického zápisu jsou vývojové diagramy a strukturogramy. Popis algoritmů konkrétních částí drtiče *PR1500* jsem zvolil pomocí vývojových diagramů. V anglickém jazyce se setkáváme s označením flowchart. Vývojový diagram je ideální pro grafické vyobrazování procesů se sekvenčními kroky. Posloupnost jednotlivých kroků jde v určitém pořadí, které se mění na základě jednoduchých událostí, akcí, funkcí nebo času. Grafický formát vývojového diagramu vychází z mezinárodního a amerického národního standardu. [6]

1.	Začátek je v diagramu vždy právě jeden
2.	Z každého bloku (kromě rozhodovacího) vede jen jediná spojnice, aby bylo jasné, kudy pokračovat.
3.	Spojnice vedoucí z rozhodovacího bloku musí být označeny (typicky <i>ano-ne, pravda-nepravda, P-N, true-false, T-F, 1-0...</i>), aby bylo jasné, kterou vybrat v jakém případě.
4.	Spojnice musí vždy začínat či končit. Vždy vede z bloku do bloku, nebo se připojí na jinou spojnici.
5.	U každé spojnice musí být jasný směr postupu.

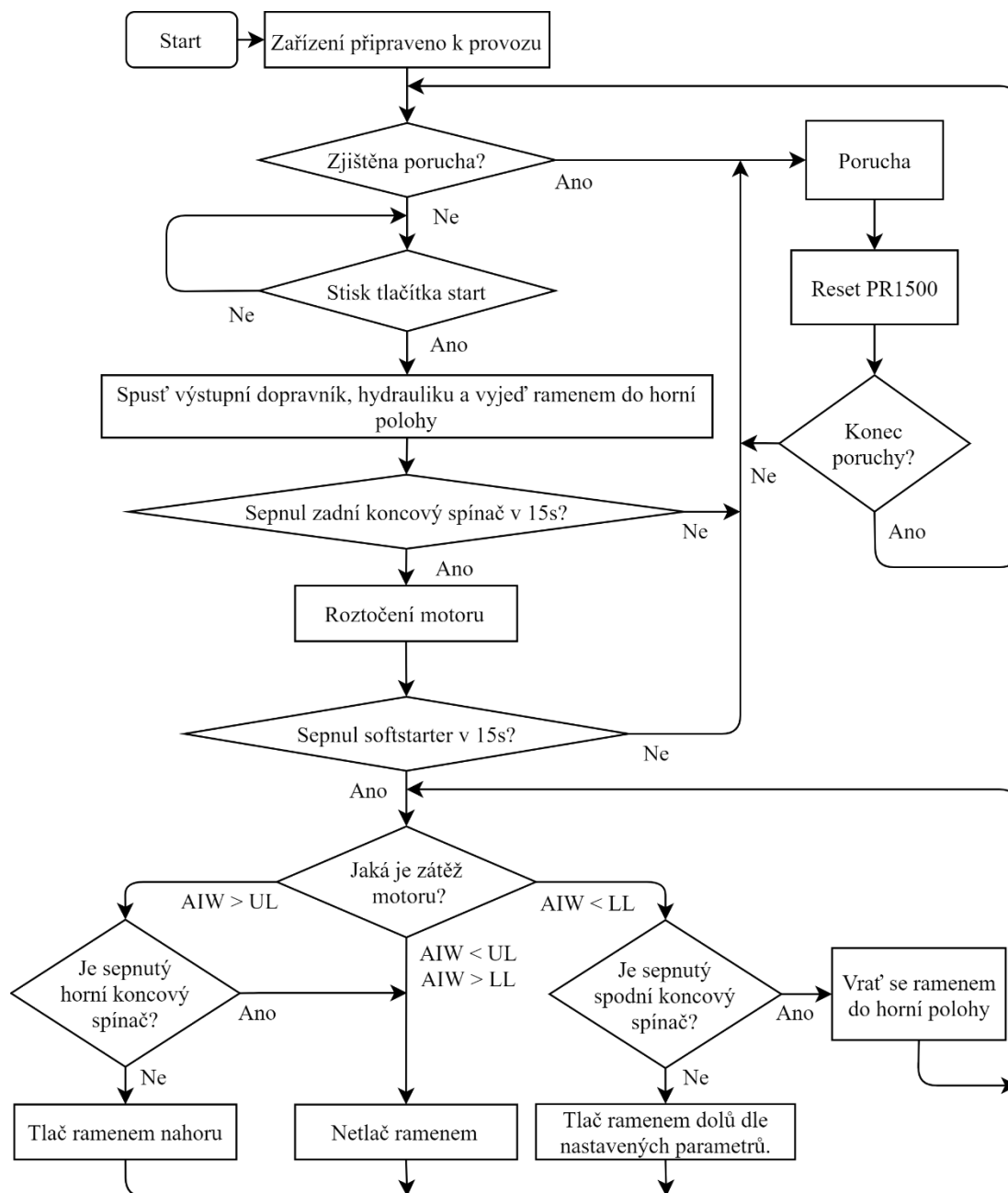
Tabulka 1: Zásady vývojových diagramů [4]

Cílem návrhu řídicího systému je vymyslet řešení pro danou úlohu. První bod pro návrh systému je definice požadavků. Ta proběhla po konzultacích s technologem, údržbářem a obsluhou. Po implementování a testování dílčích částí, probíhají úpravy v návrhu. Ty jsou rozděleny na tzv. subsystémy, které popisují jednotlivé části výrobního procesu.

4.4.1 Automatický režim - regranulace

Automatický režim se používá po významnou většinu času pro výrobu regranulátu nebo aglomerátu. Pro nastavení automatického režimu slouží třípolohový přepínač. Jeho poloha určuje, jaký režim

je zvolen režim. Specifikace pro výrobu regranulátu či aglomerátu se udává ve vizualizačním panelu. Hlavní požadavek na tento režim byl ten, aby bylo velmi jednoduché ovládání pro obsluhu. V činnosti na ovládacím panelu jsou pouze tři akční prvky, tlačítka *Start*, *Stop* a regulační potenciometr pro regulaci celkového výkonu. Obsahuje startovací rutinu s následným řízením hydraulického ramene na základě proudového zatížení motoru.



Obrázek 9: Vývojový diagram automatického režimu

Vývojový diagram (Obrázek 9) popisuje chování stroje v automatickém režimu při výrobě regranulátu. Algoritmus zkontroluje, jestli nezůstala aktivní porucha z předchozího běhu. Stisknutím tlačítka *Start*, spustíme drtič *PR1500*, čímž se spustí výstupní pás, který odvádí nadrcenou plastovou folii. Zároveň, aby nenastal problém při rozjíždění motorů a nedošlo k přetížení hned při zapnutí, se spustí hydraulický agregát s pokynem, pro přitlačné hydraulické rameno k přesunutí do horní polohy.

Analogový výstup udávající tlak pro rameno je vždy při zpáteční jízdě nastaven na maximální hodnotu, což odpovídá výstupnímu tlaku 120 bar. Jakmile obdrží PLC informaci z koncového snímače o tom, že rameno dorazilo, zapne motory drtícího rotoru přes softstartér. Tady opět čeká, tentokrát na informaci z výkonového stykače by-passu, že pozvolný start proběhl úspěšně. Pokud ani jedna ze zmíněných informací nedorazí v určitém časovém limitu, systém to vyhodnotí jako chybu a stroj se dostává do poruchového stavu.

Informace úspěšně vykonaného pozvolného startu je signál k zahájení tlačení ramene, tudíž k vykonávání práce zařízení. Rameno hydrauliky začne klesat a tím začne vyvíjet tlak na drtící rotor, zatížení motoru začne stoupat. Program neustále monitoruje zatížení motorů, které určuje chování ramene. Směr tlačení ramene je rozhodován pomocí dvou mezí *Upper limit* a *Lower Limit* (v diagramu *UL* a *LL*), které jsou stěžejní pro správný chod systému. Konkrétní hodnota se nastavuje pomocí regulačního potenciometru, kde rozsah hodnot lze nastavit ve vizualizačním prostředí. Z vývojového diagramu je dále zřejmé, že pokud je zatížení motoru vyšší než *Upper limit*, hydraulické rameno se bude vracet do horní polohy. Dostane-li se na horní koncový spínač, rameno se zastaví. Pokud je hodnota zatížení mezi limity hydraulické rameno stojí a pokud je zatížení nižší než *Lower limit*, rameno bude tlačit. Toto chování se neustále opakuje a je hlavní částí celého automatického režimu. Uvedená rutina je velmi dynamická a bezmála tunové rameno mění směr pohybu mnohdy i rychleji než za sekundu.

Systém je vybaven rovněž nouzovým tlačítkem, které stroj okamžitě vypne. Tyto informace jsou do programovatelného automatu přivedeny pomocí digitálních vstupů. Pokud obsluha vyhodnotí, že je možné ukončit práci, přijde k ovládacímu panelu a zmáčkne tlačítko *Stop*, které spustí vypínací rutinu.

4.4.2 Automatický režim – aglomerace

Jak bylo zmíněno automatický režim se používá pro výrobu dvou odlišných technologií. Pokud je zvoleno, že zařízení zpracovává materiál pro aglomerátor, tudíž nadrcená plastová fólie je dopravována do zásobníku určenému k aglomeraci. Zásobník obsahuje tři rovnoměrně umístěny piezoelektrické snímače, které zaznamenávají plnost zásobníku. Jednotlivé možné stavy snímačů, které mohou nastat, jsou zobrazeny v tabulce (Tabulka 2), ty jsou zakomponovány do programu a upravují celkovou funkci automatického režimu oproti výrobě regranulátu.

3. čidlo	2. čidlo	1. čidlo	Stav násypky	Poznámka
0	0	0	0/3 zaplnění	Spustit <i>PR1500</i> /Nastavený výkon
0	0	1	1/3 zaplnění	Nastavený výkon
0	1	0	Zakázaný stav	
0	1	1	2/3 zaplnění	Minimální výkon
1	0	0	Zakázaný stav	
1	0	1	Zakázaný stav	
1	1	0	Zakázaný stav	
1	1	1	3/3 zaplnění	Vypnout <i>PR1500</i>

Tabulka 2: Stavy aglomerační násypky

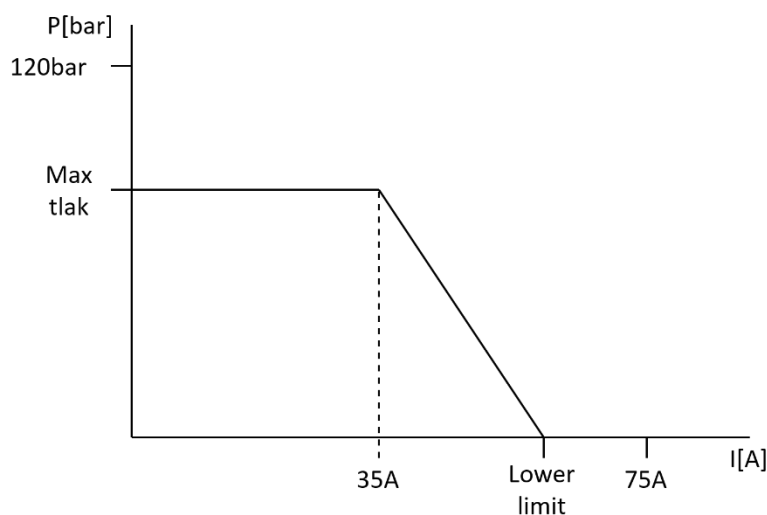
Po spuštění tlačítka *Start*, se zařízení dostane do provozního stavu. Z počátku se chová stejně jako u technologického procesu regranulace. V momentě kdy sepne druhý snímač v aglomeračním zásobní-

ku, hydraulické rameno vyjede nahoru a přestává tlačit. Program dále přestává reagovat na regulační potenciometr a veškeré nastavení hydraulického ramena. Tím významně klesá výkon drtiče a předpokládá se, že zpracovaný materiál v zásobníku již nebude stoupat. Pokud by však toto omezení výkonu nebylo dostatečné, je v zásobníku třetí snímač sloužící k signalizaci maximální hladiny, které při vysílání signálu vypíná drtič. Maximální hladina značí totež jako by bylo sepnuto tlačítko *Stop* s jedinou výjimkou, zařízení stále zůstává v provozním režimu. S provozem aglomerátoru, zpracovaný materiál v zásobníku časem ubývá. Při klesnutí materiálu pod první čidlo násypky drtič *PR1500* opět spouští jako by bylo sepnuto tlačítko *Start*. Ukončení provozního režimu dochází klasicky po stisknutí tlačítka *Stop*.

Jelikož drcená fólie je přiváděna do vrchní části aglomeračního zásobníku, je možné že při plnění násypky může dojít k zakázaným stavům z důvodu nesprávného signalizování nějakého snímače, při zachycení fólie či jiného důvodu. To je ošetřeno dvěma způsoby. První z nich je, že senzor musí vykazovat minimálně dvě sekundy tentýž stav, až poté program bere v potaz aktuální stav signalizujícího snímače. Druhé ošetření spočívá v cyklické kontrole stavů čidel a je-li zaznamenán neznámý stav čidel, zapne se časovač. Pokud do uplynutí časovače se senzory nepřeklopí do známého stavu, zařízení zahlásí poruchu a zastaví svou činnost.

4.4.3 Výpočet tlaku pro tlačení hydraulického ramene vpřed

Již víme, že hydraulické rameno tlačí dopředu pouze v případě, je-li zatížení motoru nižší než *Lower limit*. Empiricky je zjištěno, že není-li drtič zatížen, tak odebírá zhruba 35 A. Tato hodnota je daná jako počátek pro regulaci tlaku. Stejně jako rozmezí *Upper limit* a *Lower limit* se nastaví i rozmezí maximálního tlaku pro potenciometr výkonu. Potenciometr nám tedy mění tři hodnoty v programu. Hodnota 35 A v grafu je zatížení prázdného drtiče, do této hodnoty tedy regulace tlaku neprobíhá. Následně je charakteristika lineární klesající, přičemž protíná průsečík na ose X, v grafu označení *Lower limit*.

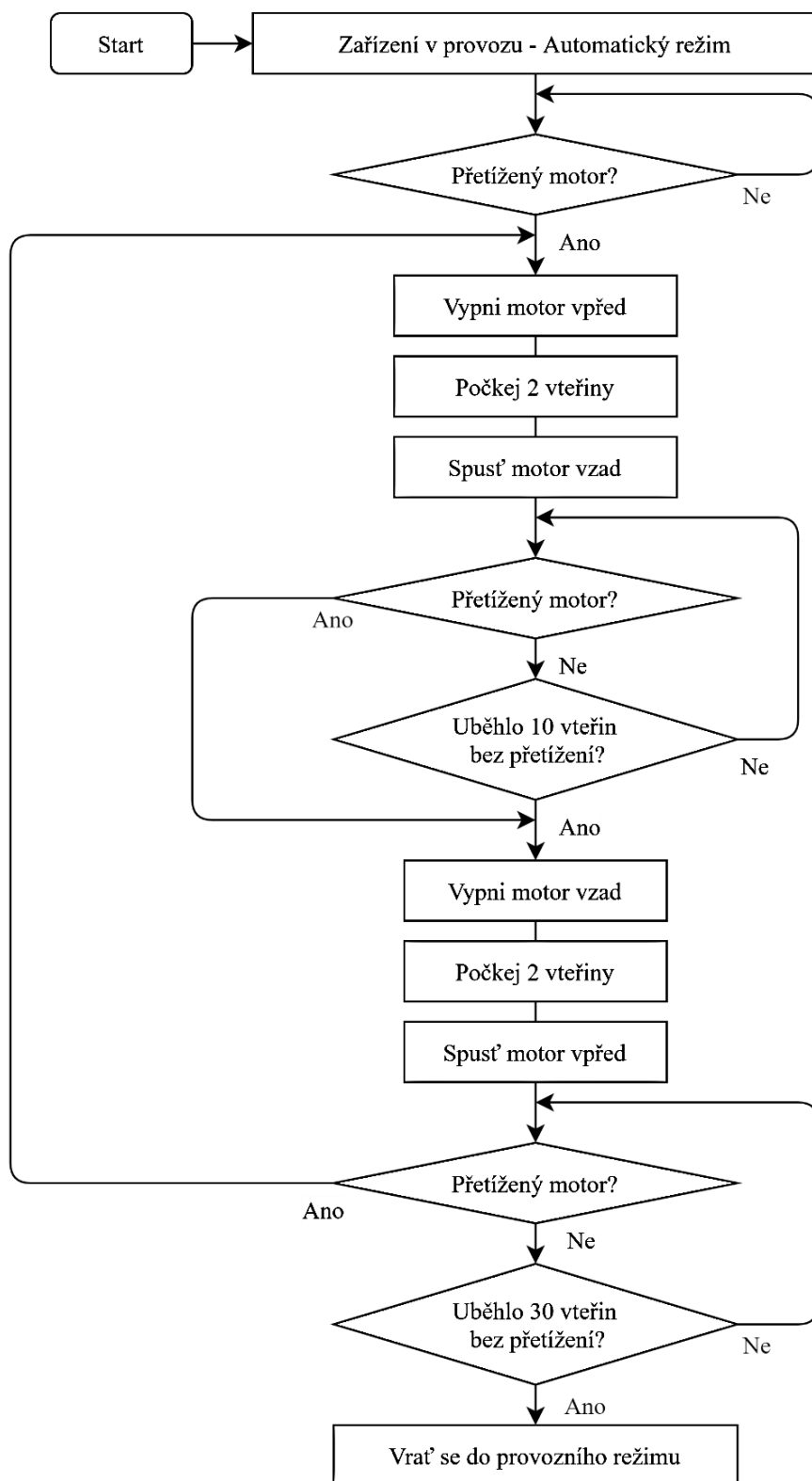


Obrázek 10: Závislost tlaku ramene na zatížení motoru

4.4.1 Stav po přetížení drtiče

Ve zpracovávaném materiálu se může vyskytnout kousek kovu nebo se může drcený plast natavit na řezací motor, či z jiných důvodů může dojít k zaseknutí motoru. Z toho důvodu je v systému zabudován stav po přetížení. V původním návrhu systému se zaseknutí motorů řešilo jejich zastavením, rozsvítila se signalizace poruchy. Obsluha dále musela reagovat přepnutím do manuálního režimu, ve

kterém se postupnou změnou směru otáčení drtiče, snažili dostat zařízení opět do provozuschopného stavu. Proud motorů drtiče je nepřetržitě za provozu monitorován. Pokud hodnota zatížení motorů překročí provozní hodnotu o 7 % a toto přetížení trvá déle jak dvě sekundy, zařízení přejde do stavu přetížení motorů.



Obrázek 11: Vývojový diagram režimu přetížení pro drtící rotor

Je-li zařízení spuštěno v automatickém režimu a dojde k přetížení po dobu dvou sekund. Následně dojde k okamžitému zastavení motorů a zvednutí hydraulického ramene na horní koncový spínač. Jakmile rameno vyjede na horní koncový spínač a uběhne od zastavení motoru alespoň pět sekund, tak se zapne zpětný chod motoru. Ten běží deset sekund nebo do dalšího přetížení motoru. Po zastavení zpětného chodu se opět čeká pět sekund, následně se spustí motor vpřed. Pokud se bez přetížení dokáže točit 30 sekund, vrátí se program do provozního stavu. Pokud dojde ve zmíněných třiceti sekundách k přetížení, motor se zastaví a program se vrací na začátek cyklu. Ve vizualizačním panelu lze nastavit maximální počet přetížení v cyklu, než systém zobrazí poruchu *Přetížený motor*. Jakmile se na panelu objeví toto hlášení, znamená to, že je stroj v poruše a jedině zásahem obsluhy je možné poruchu odstranit.

4.4.2 Zastavení provozního stavu

Zastavení provozního stavu musí probíhat takovým způsobem, aby se drtič *PR1500* nevypínal v plné zátěži a tím nedocházelo k zatavování nebo namáčknutí plastu na drtící rotor zařízení. Pokud by se tak dělo, zařízení by mělo problém při dalším startování roztočit drtící rotor, což by vedlo k přetěžování nebo dokonce i k zaseknutí drtícího rotoru. Stisknutím tlačítka *Stop* zahájíme vypínání stroje. Pro odlehčení motoru vyjede hydraulické rameno do horní polohy, jakmile dojde na horní koncový spínač, rameno se zastaví a program vypne hydrauliku. Motor se po dobu 45 sekund od stisknutí tlačítka *Stop* bude točit bez přídavného tlaku. To rotor odlehčí dostatečným způsobem, aby nebyly problémy při dalším startování stroje. Je-li nutné stroj vypnout rychleji, je možné držet tlačítko *Stop* 5 sekund a po této době se motor vypne. S motorem se současně vypíná výstupní dopravník. Je velmi pravděpodobné, že při vypínání stroje bude uvnitř *PR1500* zpracovaný materiál, který by po dobu točení motoru mohl vypadávat na dopravník.

4.4.3 Manuální režim

V manuálním režimu je možné ovládat každou jednotlivou část stroje pomocí tlačítka. Tento režim se nepoužívá při výrobě, nýbrž při hledání nebo řešení poruch a testování. Chování motorů v manuálním režimu je ovládáno dvěma tlačítky, každé tlačítko je pro jeden směr. Není přípustné, aby byl motor spuštěn zároveň v obou směrech. V programu se počítá taky se setrvačností rotoru. Pro roztočení motoru druhým směrem je nutné počkat čtyři sekundy. Kdyby zmíněná podmínka v programu nebyla, docházelo by ke zbytečnému namáhání motorů. Pro hydrauliku se nachází tři tlačítka. První je určeno pro spuštění nebo vypnutí hydraulického agregátu a zbylé dvě pro posun ramene v určitém směru. U ovládání směru hydraulického ramena se musí brát ohled na to, aby podobně jako u motoru nebylo rameno spuštěno pro oba směry zároveň. Nicméně se zde nepočítá s jeho setrvačností. Naopak se zde musí řešit situace, kdy se rameno nachází v koncovém stavu. Pokud se rameno nachází v koncovém stavu daného směru, tak se nesmí rameno tímto směrem dále pohybovat. Poslední tlačítko na ovládacím panelu spouští a vypíná výstupní dopravník.

5 Realizace řídicího systému

K úspěšné realizaci řídicího systému je nezbytné nejprve nadefinovat vstupy a výstupy. Pro snazší orientaci, při zapojování nového rozvaděče pro modernizovaný systém byly přetrvávající vstupy a výstupy adresovány stejně jako u prvotního systému. Nové prvky se adresovaly na další adresy.

5.1 Vstupy a výstupy

Adresa	Název proměnné	Poznámka
I0.0	Not_aus	Tlačítko pro nouzové vypnutí
I0.1	Stykač_ROZ	Rozepne se po doběhu softstartéru
I0.2	Manual	Tří stupňový přepínač – manuální režim
I0.3	Auto	Tří stupňový přepínač – automatický režim
I0.4	Zap	Spuštění stroje v automatického režimu
I0.5	Vyp	Zastavení stroje v automatického režimu
I0.6	M_vpřed	Roztočení motoru vpřed v manuálním režimu
I0.7	M_vzad	Roztočení motoru vzad v manuálním režimu
I1.0	HP_vpřed	Tlačení hydraulického ramena vpřed
I1.1	HP_vzad	Tlačení hydraulického ramena vzad
I1.2	Hydraulika	Tlačítko zap./vyp. hydrauliky
I1.3	Tl_pas	Tlačítko zap./vyp. výstupního pásu
I1.4	Kon_vzadu	Horní poloha hydraulického ramena
I1.5	Kon_vpredu	Dolní poloha hydraulického ramena
I2.0	Olej	Kontrola teploty/hladiny oleje
I2.1	ProudMotoru	Proudová ochrana
I2.2	S_sensor	2. senzor aglomerační násypky
I2.3	T_sensor	3. senzor pro aglom. násypky
I2.4	F_sensor	1. senzor pro aglom. násypky
I2.5	Tl_dopravník	Tlačítko zap./vyp. vstupního dopravníku
AIW4		Zatížení motoru
AIW6		Potenciometr: regulace výkonu
AIW8		Teplota pláště motoru

Tabulka 3: Adresované vstupy v systému

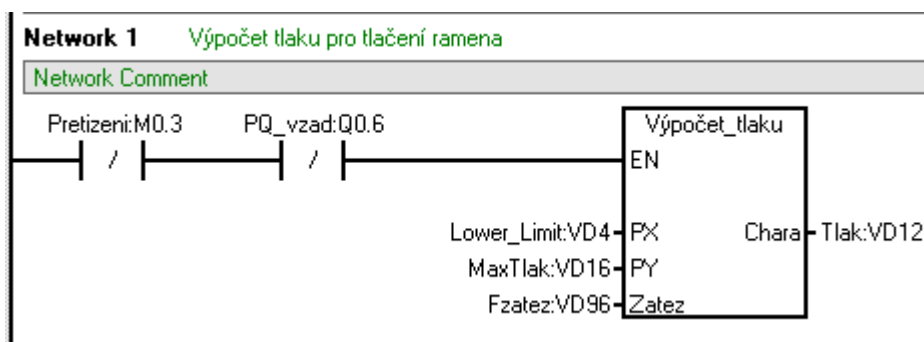
Adresa	Název proměnné	Poznámka
Q0.0	Motor_vpřed	
Q0.1	Motor_vzad	
Q0.2	Hydraulika	Zap./Vyp. Hydraulického agregátu
Q0.3	Pas	Výstupní dopravník
Q0.4	Magnet	Rotační magnet
Q0.5	PQ_vpřed	Tlačení hydraulického ramena
Q0.6	PQ_vzad	Vracení hydraulické rameno
Q0.7	GREEN_LED	Provozní kontrolka
Q1.0	RED_LED	Poruchová kontrolka

Q1.1	Aktivace_sensors	Aktivace senzorů pro aglomeraci
Q2.0	Voda	Chlazení drtícího rotoru
Q2.1	Dopravník	Vstupní dopravník
AQW0		Tlak pro hydraulické rameno

Tabulka 4: Adresované výstupy v systému

5.2 Realizace SW pro hydraulické rameno

V této kapitole jsou dále rozebrány vybrané části programu v softwarovém prostředí STEP7-Micro/WIN. Konkrétně chování hydraulického ramena v automatickém režimu při výrobě regranulátu.



Obrázek 12: Výpočet tlaku dle zátěže pro tlačení vpřed

V podprogramu automatický režim v *Network 1* se řeší výpočet tlaku pro tlačení hydraulického ramena. Aby byl podprogram aktivní nesmí být sepnuty bity *Pretizeni* (*M0.3*) a *PQ_vzad* (*Q0.6*). Sepnutý bit *M0.3* signalizuje spuštěný režim přetížení. Sepnutá výstupní proměnná *PQ_vzad* (*Q0.6*), spíná hydraulický válec tak, aby se rameno posunovalo směrem vzad. Samozřejmě pro vrácení ramene je vždy nutné přivádět dostatečný tlak, pomocí analogového vstupu. Pro tlačení ramena vpřed, funguje stejným způsobem proměnná *PQ_vpřed* (*Q0.5*). Tyto proměnné nikdy nesmí být sepnuty zároveň, pokud však jsou obě proměnné v logické 0, rameno drží aktuální pozici.

Rozepnutá výstupní proměnná *PQ_vzad* (*Q0.6*) tedy znamená, že rameno může tlačit vpřed nebo stát na aktuální poloze. Pokud zatížení motoru přesáhlo hodnotu *Lower_Limit* (*VD4*), dle zmiňované charakteristiky (Obrázek 10) vychází, že do proměnné *Tlak* se zapisuje nulová hodnota. Proto není nutné mít zadanou podmínku sepnutého bitu *PQ_vpřed* (*Q0.5*), který spouští rameno vpřed.

Pokud známe průsečíky jednotlivých os, je možné vypočítat klesající lineární funkci pomocí vzorce:

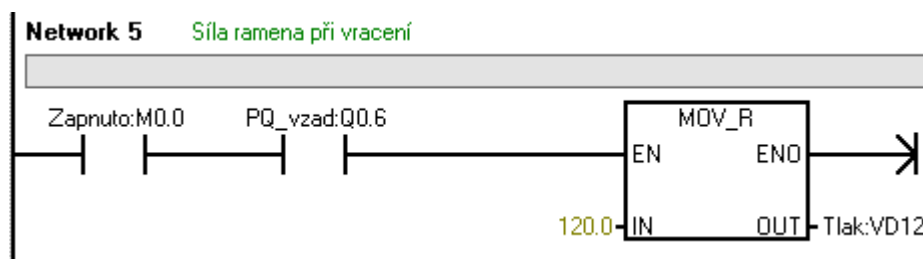
$$y = -\frac{P_y}{P_x} \cdot x + P_y$$

Tento matematický popis je uvnitř podprogramu *Výpočet tlaku*. Po doplnění proměnných v programu do vzorečku, kde osa Y představuje tlak hydraulického ramene a osa X zatížení motorů. Průsečík osy Y (P_y) je maximální hodnota tlaku, které lze dosáhnout a představuje ji proměnná *MaxTlak* (*VD16*). Průsečík osy X (P_x) je maximální hodnota proudu, při které rameno ještě tlačí vpřed. V tomto případě to je proměnná *Lower_Limit* (*VD4*). Abychom docílili zmiňované charakteristiky je nutné, zapisovat do proměnné *fzatez* (*VD96*) všechny reálná kladná čísla mínus hodnota proudu motorů nezatíženého drtiče. To je provedeno pomocí správného nastavení funkce *Scale*. Výsledná hodnota se zapisuje do

proměnné *Tlak* (VD12). Pro větší přesnost je závislost řešená v datovém typu REAL, výsledek funkce je tedy reálné číslo. Po dosažení proměnných z programu dostaneme:

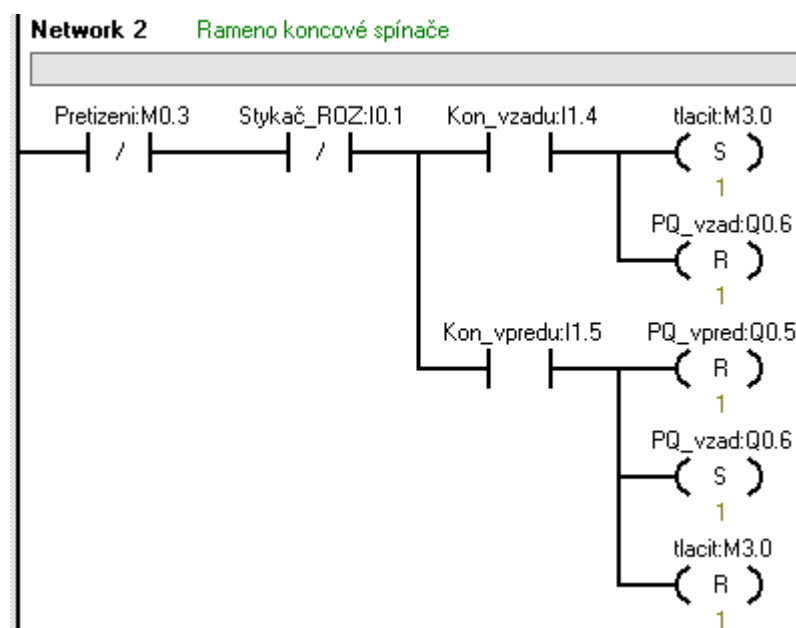
$$Tlak = -\frac{MaxTlak}{LowTier} \cdot fzatez + MaxTlak$$

Pokud se rameno vrací, je vzhledem k jeho váze nutné tlačít maximálním tlakem. To je řešeno pomocí funkce *MOVE* pro každou část programu. Tato část je řešena v *Network 5* (Obrázek 13) hlavního programového bloku. Po splnění podmínky sepnutého výstupního bitu *PQ_vzad* (Q0.6) se aktivuje zmíněná funkce *MOVE*. Ta zapíše hodnotu 120.0 do proměnné *Tlak* (VD12), což odpovídá tlaku 120 bar.



Obrázek 13: Tlak hydraulického ramene při vracení

Je nutné implementovat chování ramene při dosažení koncových stavů, po rozběhnutí motoru pomocí softstartéru. To je naprogramováno v *Network 2*.

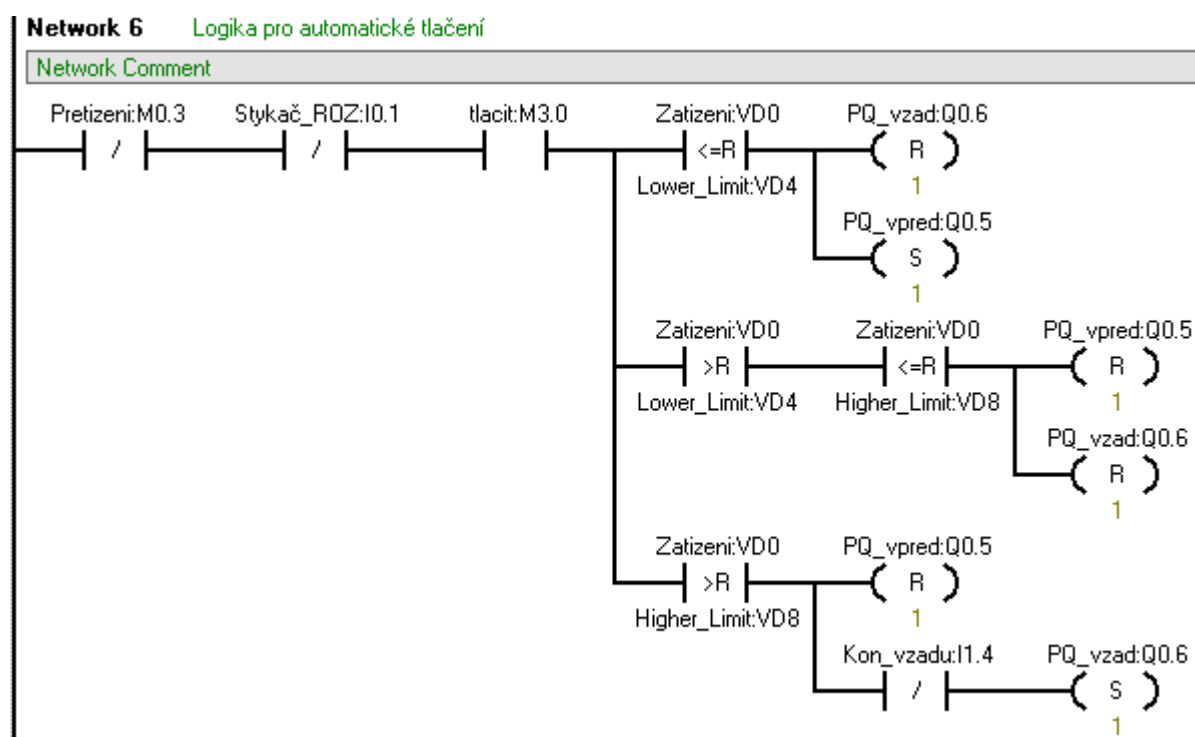


Obrázek 15: Chování hydraulického ramene při dosažení koncových stavů

Při spínání by-passu softstartérem, se zároveň rozeplne pomocný kontakt, který vede na digitální vstup *I0.1*. Je-li zařízení úspěšně spuštěno, je rozeplá proměnná *Stykač_ROZ* (*I0.1*). Tato informace dává pokyn zařízení k vykonávání práce. Pakliže se hydraulické rameno dostane na přední koncový spínač je aktivována vstupní proměnná *Kon_vpřed* (*I1.5*). V ten moment je nezbytné vyresetovat výstupní bit *PQ_vpřed* (*Q0.5*) a sepnout bit *PQ_vzad* (*Q0.6*). V tomto případě po přivedení patřičného tlaku, se začne hydraulické rameno vracet. Tím že se, zároveň vyresetuje proměnná *tlacit* (*M3.0*), přestává rameno reagovat na zatížení motoru. V ten moment nic ramenu nebrání, aby vyjelo až do horní

polohy. Pokud se hydraulické rameno dostane do horní pozice, aktivuje se proměnná *Kon_vzadu* (I1.4). Tím se zároveň vyresetuje proměnná *PQ_vzad* (Q0.6), která zastavuje vracení hydraulického ramena. Dále se sepne pomocí funkce *SET* zmíněná proměnná *tlacit* (M3.0). Ta musí být v logické 1, aby rameno opět reagovalo na zatížení motoru. Pokud je násypka zaplněná, další dosažení spodního koncového spínače trvá významně déle, vzhledem k drcení materiálu.

Pro překlápění směru ramena vůči zatížení motorů slouží *Network 6*. Musí být rozepnuty již zmíněné bity (*M0.3* a *I0.1*) a naopak proměnná *tlacit* (*M3.0*) se musí nacházet v logické 1.



Obrázek 16: Chování hydraulického ramene podle zatížení motoru

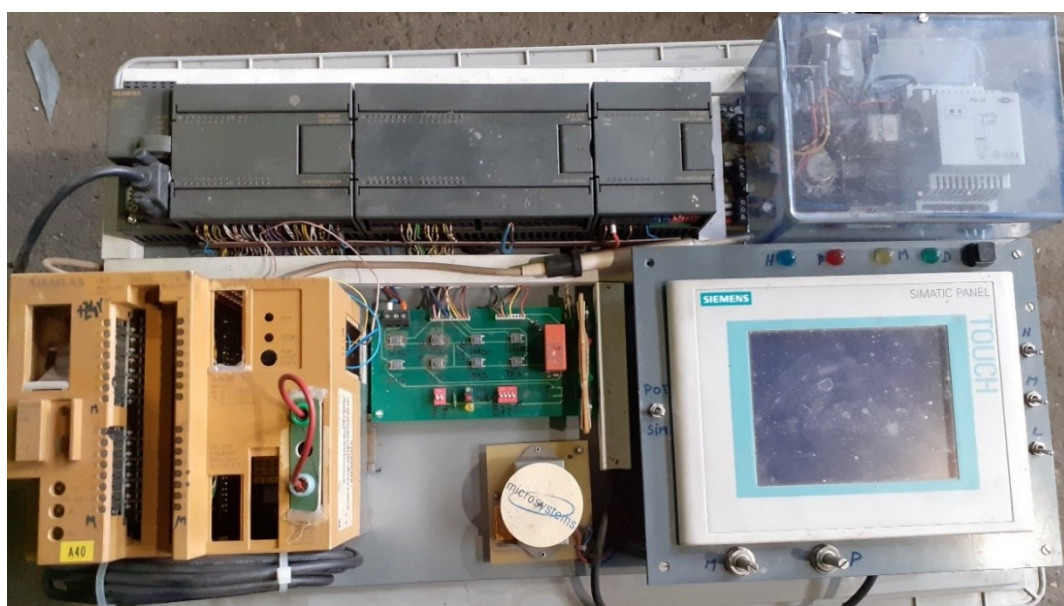
Samotné překlápění je dáno třemi stavy, rameno tlačí dopředu, stojí na aktuální poloze nebo se vrací k hornímu koncovému spínači. To je dáno pomocí dvou hraničních hodnot tzv. *Lower_Limit* (VD4) a *Higher_Limit* (VD8). Hraniční hodnoty jsou vždy porovnávány s aktuální hodnotou zatížení motorů, proměnná *Zatizeni* (VD0). Pokud je hodnota proudu motoru menší než *Lower_Limit* (VD4), tak je pomocí funkce *SET* přivedena logická 1 na výstup *PQ_vzad* (Q0.6) a pomocí funkce *RESET* přivedena logická 0 na výstup *PQ_vpřed* (Q0.5). Po přivedení patřičné hodnoty na analogový výstup, hydraulické rameno začíná vyvíjet tlak na zpracovávaný materiál. Pokud je hodnota proudu mezi hranicemi, oba výstupy pro hydraulický válec jsou vyresetovány a rameno si udržuje svoji pozici. V situaci, kdy proud překročí hranici nastavenou hodnotou *Higher_Limit* (VD8), vyresetuje se proměnná *PQ_vpřed* (Q0.5) a sepne se proměnná *PQ_vzad* (Q0.6), to má za následek vracení hydraulického ramena a odlehčování motoru. Pokud jsou hraniční hodnoty správně nastaveny, dochází k minimálnímu přetěžování a velmi dynamickému střídání stavů ramena. Potenciometrem pro regulaci výkonu se upravují hraniční hodnoty dle potřeby a ve vizualizačním panelu má technolog možnost úpravy rozsahu pro jednotlivé proměnné. Součástí programu je také, ošetření proti špatně zadaným hodnotám parametrů.

5.3 Testování realizovaného programu

Vlastní realizaci samotného programu předcházela výroba přípravku, který simuloval chování drtiče *PR1500*. Přípravek byl vyroben, protože nebylo možné odstavit na dlouhou dobu klíčový stroj firmy. Tento přípravek byl vyvinut tak, aby bylo možné flexibilní připojení nového systému. Dále pak proto, aby hlavní kostra programu byla vyvinuta mimo firmu a na stroji se pak už jen prováděly drobné odlaďovací úpravy. Po realizaci softwaru a odzkoušení na přípravku byl systém hned spuštěn do výrobního procesu a už se odstraňovaly jen drobné nedostatky zjištěné samotným provozem.

K výrobě přípravku bylo rovněž zapotřebí navrhnout desku plošných spojů, která obsahovala simulaci všech ovládacích, signalizačních a bezpečnostních prvků. Dále přípravek obsahuje simulaci hydraulického ramene. Tato simulace je provedena pomocí optických závor, v nichž se nachází vyrobená destička, která ručním posouváním nahrazuje chování ramene. Chování drtícího rotoru v přípravku představuje malý stejnosměrný motor, který je v zapojení, jenž umožňuje otáčení motoru v obou směrech. Směr otáčení je dán dvěma výstupy programovatelného automatu, kdy oba výstupy jsou přivezeny na relé, které sepnutím spustí motor v daném směru. Bylo myšleno i na simulaci spínání softstartéru, která je realizována pomocí časového spínače. Přípravek dále obsahuje měření teploty včetně převodníku, potenciometr výkonu drtiče, potenciometr simulující zátěž motoru, snímače stavu hladiny v aglomeračním zásobníku, signalizaci zapnutí hydraulického čerpadla, dopravníků, magnetu a samozřejmě *Simatic S7-200*, dotykový panel *TP 177* a zdroj.

Taky bylo nutné přijít s řešením, které co nejvíce zjednoduší přepojení z přípravku na reálnou technologii. Spouštění a ukončování celé technologie drcení je velmi časově a energeticky náročné. Nedalo se tedy spoléhat na to, že když cokoliv selže bude se muset odstavovat celá linka. Navíc jen testování samotného mlýnu *PR 1500* bez okolní technologie, téměř nebylo možné. Byl navrhnut způsob pomocí starého nefunkčního *Simaticu S5-95*, ve kterém se vyřadily všechny elektronické obvody a použil se jen propojovací konektor, tento konektor je unikátní a nešel ničím nahradit. Vlastní přepojení trvá okolo tří minut a soustředí se v podstatě jen na přepojení tohoto konektoru, tato doba je naprosto postačující na to, aby nehrozilo odstavování provozu linky.



Obrázek 14: Přípravek simulující chování *PR1500*

6 Zpracování vizualizačního systému pro řídicí systém

Pro operátora a všechny ostatní, kteří jsou součástí výroby, je nezbytná maximální transparentnost, pokud se nachází v prostředí se složitějšími výrobními procesy a nároky na zařízení. Tuto transparentnost poskytuje systém Human Machine Interface (HMI) nebo Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA). Vizualizační systém reprezentuje rozhraní mezi obsluhou zařízení a výrobním procesem. Slouží k poskytování informací o stavech řízeného systému, samotném průběhu řízení a ovládání procesu. Máme několik technických prostředků pro realizaci uživatelského rozhraní.

V průmyslovém prostředí může mít HMI několik podob. Uživatelské rozhraní může být v podobě dotykové obrazovky, tabletu, nebo jiné zařízení na bázi mikroprocesoru s displejem a tlačítky. Pro snadný přístup se umísťuje přímo k řízenému systému. Tato zařízení se svojí odolností a spolehlivostí, jsou srovnatelná s programovatelnými automaty. Provozovatelé drtiče *PR1500* mohou pomocí rozhraní HMI například sledovat různé poruchové stavy nebo aktuální hodnotu proudu motoru. SCADA/HMI systémy jsou používány pro monitorování a řízení rozsáhlých procesů, typicky celý technologický proces. Jsou kombinací více systémů včetně sensorů, terminálních jednotek a PLC. Následně jsou veškerá data posílána centrální SCADA jednotce, obvykle se používá PC. To přináší spoustu výhod do systému, zejména grafické, paměťové, výkonové a komunikační, naopak SCADA systémy ubírají na spolehlivosti. Jednotka HMI může pro SCADA systém monitorovat a ovládat vše co je k ní připojeno. Proto se setkáváme s označením SCADA/HMI. [10]

6.1 Simatic WinCC 2008 flexible

Vizualizační systém pro drtič *PR1500* byl navržen v programu *WinCC flexible 2008*. Je to vizualizační prostředí pro řešení různých konfiguračních úloh konkrétního modelu dotykového panelu *TP177 micro*. Vizualizační prostředí se skládá z několika menu a panelu nástrojů.

Část programu	Popis
Work area	Pracovní plocha vývojového prostředí, slouží k použití, konfigurování a organizování jednotlivých objektů. Všechny prvky <i>WinCC flexible 2008</i> jsou uspořádány okolo pracovní plochy, pro co nejpřehlednější ovládání programu.
Project view	Nachází se zde složky ve formě stromové struktury. Složky obsahují jednotlivé prvky každého editoru, do kterého můžeme ukládat objekty strukturovaným způsobem. Mimo to se zde nachází taky přímý přístup ke konfigurovaným objektům, recepty, skripty, protokoly a uživatelské slovníky. Nachází se zde taky složka pro nastavení komunikace mezi PLC a HMI.
Property view	Slouží k editování objektů, jako je font, velikost, barva a podobně. Nachází se ve specifických editorech.
Toolbox	Obsahuje nejrozličnější objekty, které se můžou přidat na jednotlivé obrazovky. Jedná se o textové pole, grafické objekty, tlačítka a podobně. Také obsahuje knihovny se šablony objektů.
Library	Poskytuje přístup na obrazovku šablony objektů. Nachází se zde například šablona pro objekty s vícenásobným použitím nebo opětovného použití. Tyto šablony zvyšují efektivitu programování.

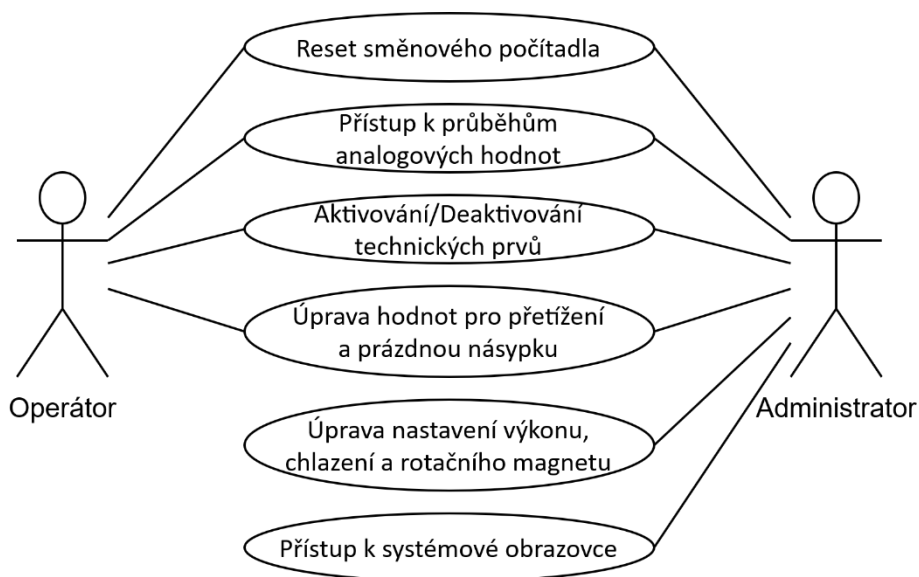
Output view	K zobrazení různých informací při kompilování programu, ať už je to velikost programu nebo počet chyb či varování.
-------------	--

Tabulka 5: Části vývojového prostředí Simatic WinCC 2008 flexible [11]

Komunikace mezi panelem *TP177 micro* a *WinCC flexible 2008*, byla vedena přes sběrnici PROFIBUS, pomocí komunikačního protokolu PPI, podobně jako u komunikace mezi *Step7-Micro/WIN* a programovatelným automatem.

6.2 Oprávnění vizualizačního systému

Při ovládání zařízení je velmi často potřeba rozlišit skupiny osob, aby se nestalo že neoprávněná osoba vykonávala operaci, na kterou nemá dostatečnou kompetenci. I ve vizualizačním systému pro drtič *PR1500* bylo potřeba rozdělit práva pro jednotlivé funkce. Oprávnění k operacím byly rozděleny na dvě úrovně. Obeznamení zaměstnanci s celkovou problematikou drtiče, dostanou k dispozici heslo pro přístup k funkcím požadující vyšší úroveň. Úroveň nula, je úroveň určená pro obsluhu stroje. Tato úroveň nemá vytvořené heslo a nemá povolení k operacím vyšší úrovně. Druhá úroveň je administrátorská, které je již umožněn přístup ke všem operacím. K přihlášení dojde po správně vyplněném heslu po kliknutí na funkci s vyšší úrovní oprávnění. Po špatně vyplněném heslu bude uživateli přístup k dané funkci zamítnut. Odhlášení proběhne v po kliknutí na tlačítko *Domů* viz. (Obrázek 17). Na use case diagramu (Obrázek 15) jsou zobrazeny přístupy k jednotlivým operacím pro operátora i administrátora.



Obrázek 15: Use case diagram pro vizualizační systém

Koncept oprávnění je nastaven tak, že operátor má přístup ke všem informativním funkcím v programu. Nastavovat může však pouze doplňovací funkce zařízení, které slouží k doladění obsluhy stroje podle osobních nebo výrobních preferencí. Operátor má například přístup ke směnovému počítadlu na hlavní obrazovce, které poskytuje informace o provozní době zařízení, k aktivaci jednotlivých technických prvků, specifikování chování po zjištění prázdné násypky, nebo stavu po přetížení drtiče.

Funkce, které významným způsobem ovlivňují chod zařízení jsou zabezpečeny vyšší uživatelskou úrovní. Pokud by došlo ke špatným nastavením hrozila by porucha zařízení nebo rozhození celkového výrobního procesu. K tomu patří nastavení parametrů pro hydraulické rameno neboli hodnoty pro

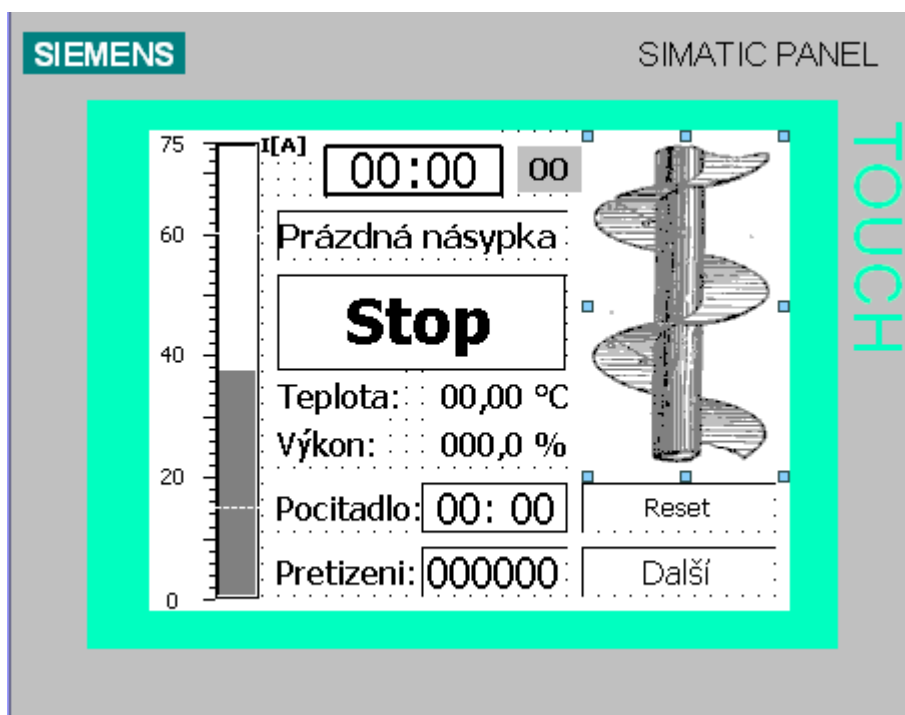
regulační potenciometr. Dále k nim patří úprava nastavení spínání chlazení a rotačního magnetu. Administrátor má taky přístup k systémové obrazovce, přes kterou se lze dostat do operačního systému vizualizačního panelu.

6.3 Realizace vizualizačního systému

Koncept vizualizace drtiče je pojat ve formě co nejsnadnější obsluhy zařízení. Kde první dvě stránky jsou určeny právě pro obsluhu, která má navíc přístup k sekci monitoring. Zbylé obrazovky jsou cíleny již na technologa nebo servis zařízení.

Výsledný vizualizační systém je poměrně rozsáhlý, proto v této práci budou vyobrazeny pouze jeho části. Po nakonfigurování komunikace mezi programovatelným automatem a HMI panelem je nezbytné do tabulky tagů, přiřadit všechny proměnné, které jsou potřeba v samotné vizualizaci. Každému tagu je nutné přiřadit vhodnou periodu obnovování hodnoty. S tagy následně pracujeme při vytváření vizualizačního softwaru.

U hlavní obrazovky byl kladen důraz na její přehlednost, aby obsluha neztrácela čas s obtížnou manipulací dotykového panelu. Na hlavní obrazovce, která slouží především jako informativní obrazovka pro obsluhu drtiče, se operátor pohybuje po většinu času obsluhy.



Obrázek 16: Hlavní obrazovka vizualizačního systému

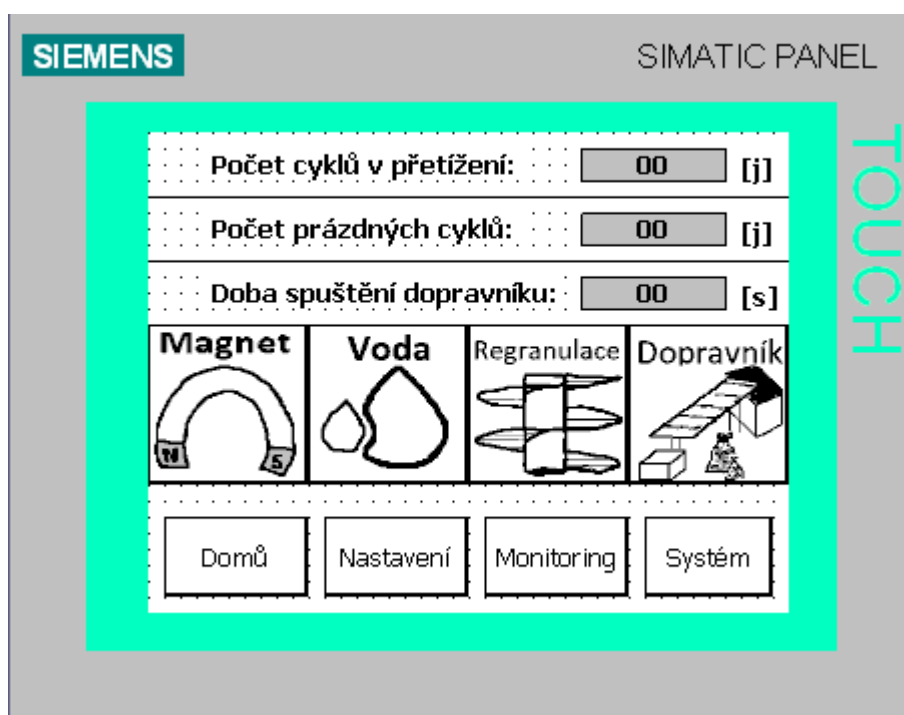
Na horní části obrazovky jsou k vidění digitální hodiny aktuálního času. Po pravé straně hodin se nachází číselný ukazatel, který se zviditelní v momentě, pokud se systém dostane do stavu po přetížení motorů. Ten ukazuje v kolikátém cyklu přetížení se program aktuálně nachází. Textový ukazatel *Prázdná násypka* pod hodinami reálného času je viditelný, když systém vyhodnotí, že se v drtiči nenachází žádný materiál a následně dochází k vypnutí. Uprostřed obrazovky se nachází nejvýraznější textový ukazatel signalizuje, že indikuje aktuální režim zařízení.

Na levé části hlavní obrazovky se nachází, velmi důležitý prvek. Tím je ukazatel aktuálního proudu motorů. Pokud se hodnota proudu delší dobu pohybuje okolo 70 A, měla by obsluha vyhodnotit, že aktuální nastavení pro zpracováváný materiál je na hranici limitů drtiče a následně snížit jeho výkon. Naopak pokud obsluha zpozoruje, že zpracování materiálu neprobíhá požadovanou rychlostí a motor není soustavně přetěžován, je vhodné zvýšit výkon zařízení. Blízce spjatá s proudem motoru je aktuální hodnota výkonu a teplota pláště zařízení. Tyto hodnoty jsou zobrazeny pod ukazatelem stavu režimu.

Na pravé straně obrazovky je obrázek výrobního procesu, který je spuštěný. Pokud je spuštěná regranulace, byl zvolen šnekový dopravník, který je symbolický pro regranulátor. Pokud se vyrábí aglomerát je na obrázku vyobrazená aglomerační násypka, ve které je ukazatel naplněnosti, podobného typu jako ukazatel proudu. Ten ukazuje v rozmezích 0-4, pouze celá čísla dle tří snímačů v aglomerační násypce.

Na spodní části obrazovky jsou dvě počítadla. Počítadlo provozní činnosti drtiče pro obsluhu, počítá v době, kdy je spuštěný motor ve formátu *hh:mm*. Počítadlo přetížení zaznamenává počet značných nárůstu proudu motoru po dobu dvou sekund. Na hlavní obrazovce se nachází pouze dva akční prvky. První je tlačítko *Reset*, které slouží k resetování zmíněných dvou počítadel. Druhý je tlačítko *Další*, slouží k přepnutí na další obrazovku.

Na druhé obrazovce se nachází hlavně akční prvky s popisky, které slouží hlavně k přizpůsobení výrobního procesu, ať už to jsou to jsou *I/O fields*, nebo dvoupolohové přepínače. Další akční prvky jsou tlačítka, která slouží k přepínání na další obrazovky.



Obrázek 17: Druhá obrazovka vizualizačního systému

Čtyři dvoupolohové přepínače na obrazovce jsou vytvořeny pomocí objektů switch. Při popisu z levé strany, první přepínač slouží k aktivování funkce, spínání rotačního magnetu nad výstupním dopravníkem. Druhý přepínač slouží k aktivaci funkce chlazení pomocí vody. Třetím přepínačem volíme, pro jakou výrobu zařízení momentálně zpracovává materiál, jestli je to aglomerace či regranulace.

Pomocí přepínače na pravé straně nastavujeme, jestli chceme po uběhnutí prázdných cyklů spustit vstupní dopravník, nebo vypnout zařízení.

Na vrchní části jsou tři zmíněné *I/O fields*, ty jsou nastaveny jako IN/OUT. To znamená, že po přiřazení tagu k jednotlivým polím, je možné číst a zapisovat hodnoty do jednotlivých proměnných v programovatelném automatu. Počtem prázdných cyklů, nastavujeme kolikrát se může prázdný cyklus opakovat, než dojde k automatickému vypnutí nebo ke spuštění vstupního dopravníku. Kolonka doba spuštění dopravníku určuje, jak dlouho bude spuštěn vstupní dopravník, pokud je přepínač přepnutý na spínání dopravníku po uběhnutí konkrétního počtu prázdných cyklů. Počet cyklů v přetížení neboli kolikrát může dojít ve stavu po přetížení k nadměrné zátěži motoru, než systém vyhodnotí poruchu.

Na spodní části obrazovky se nacházejí tlačítka pro přepínání na jednotlivé obrazovky. Tlačítkem domů se dostaneme zpět na hlavní obrazovku. Po stisku tlačítka nastavení si vizualizační systém vyžádá heslo pro ověření oprávnění uživatele. Správným zadáním hesla se uživatel dostává k obrazovkám pro nastavování parametrů regulačního potenciometru, chlazení a rotačního magnetu. Tlačítkem *Monitoring*, se dostaneme na obrazovku, kde se nachází průběhy proudu motorů a tlaku v závislosti na čase. Také se zde nachází obrazovka s aktuálními hodnoty všech vstupů a výstupů.

Obrazovka pro nastavování parametrů pro regulační potenciometr, je zásadní pro správné nastavení technologického procesu. Tato obrazovka spadá pod vyšší úroveň oprávnění. V tabulce se nastavují rozsahy hodnot potenciometru pro tři proměnné pomocí hraničních hodnot. Hraniční hodnoty, jsou ty, které potenciometr bude vykazovat při vytočení na minimum a maximum. Určením hraničních hodnot získáme tři lineární funkce, které jsou dány právě dvěma body. Závislosti jsou dány určitou proměnnou na polohu potenciometru.

Potenciometr	Min	Max	[j]
Rameno vpřed:	00,0	00,0	[A]
Rameno vzad:	00,0	00,0	[A]
Max Tlak:	000	000	[bar]

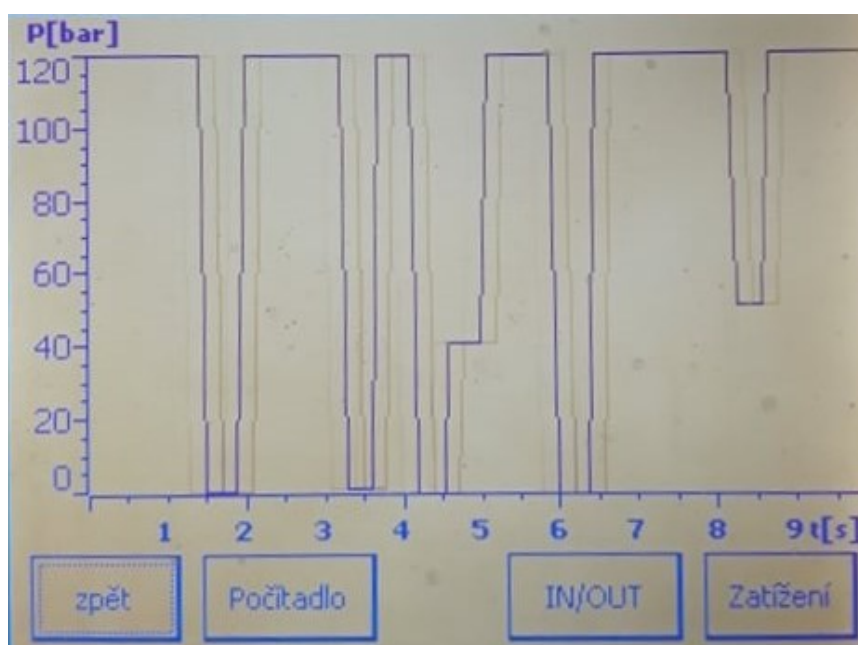
zpět Chlazení Magnet

Obrázek 18: Nastavování parametrů pro regulační potenciometr

Hodnoty pro *Rameno vpřed* ve vizualizaci udávají společně s polohou potenciometru konkrétní hodnotu proměnné *Lower_Limit* (VD4). Tato proměnná udává hodnotu zatížení motorů, do které bude hydraulické rameno tlačit vpřed a tím pádem vyvíjet sílu na plastovou fólii. Proměnná je taky využívána pro výpočet tlaku pro tlačení vpřed hydraulického ramene v automatickém režimu.

Z vývojového diagramu automatického režimu (Obrázek 9), je známo že rameno se nachází ve stavech, kdy tlačí na plastový odpad, stojí na aktuální pozici nebo se vrací z důvodu vysokého zatížení motorů. Hodnoty pro *Rameno vzad* ve vizualizaci udávají s aktuální polohou potenciometru, konkrétní hodnotu proměnné *Higher_Limit* (VD8). Proměnná určuje, od jaké hodnoty proudu motorů se rameno překlápí ze stavu statické polohy do stavu posunu vzad a naopak.

Ve vizualizaci se taky udávají parametry pro proměnnou *MaxTlak* (VD16). Tato proměnná je velmi důležitá pro výpočet tlaku pro tlačení vpřed hydraulického ramene v automatickém režimu. Proměnná nastavuje maximální hodnotu tlaku tlačení vpřed při hodnotě proudu 35 A, což je hodnota zatížení motoru v době, kdy je zařízení prázdné, tudíž nezpracovává žádný materiál.



Obrázek 19: Závislost tlaku hydraulického ramene na čase

7 Zhodnocení a závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat modernizaci řídicího systému pro drtič plastového odpadu na základě původního systému. Vstupní suroviny určené pro zařízení jsou v podobě polyethylenových fólií. Ty se v drtiči zpracují na frakci 5–10 cm, pomocí vyvíjeného tlaku z hydraulického ramene a točivého momentu drtícího rotoru. Součástí zařízení jsou také dva dopravníky. Na vstupní dopravník obsluha skládá plastovou fólii, která je následně dopravována do zařízení. Z pod zařízení vede výstupní dopravník, na který dopadá již nadrcená fólie a dopravuje ji do dalších technologických procesů.

Návrh obsahuje automatický režim, který je využíván v technologickém procesu pro výrobu aglomerátu a regenerátu. Obsahuje algoritmus pro správné spuštění stroje, aby nedocházelo k přetížení motorů již po spuštění zařízení. Následně se zapne funkce pro tlačení hydraulického ramene na zpracovávaný materiál. Směr posunu hydraulického ramene a velikost dodávaného tlaku v automatickém režimu je dána proudovým zatížením motorů pohánějící drtící rotor. V automatickém režimu je zároveň řešen stav po přetížení motorů, ve kterém se řeší odlehčení motorů pravidelnou změnou směru jejich otáčení. V manuálním režimu lze ručně ovládat, každá jednotlivá část zařízení pomocí ovládacího panelu.

Cílem návrhu řídicího systému bylo řešení jednotlivých požadavků k modernizaci zařízení a následné realizování v programu pro zvolenou PLC sestavu. Hlavní požadavek bylo zakomponování regulace výkonu zařízení. To bylo vyřešeno zavedeným potenciometrem, který reguluje tlak hydraulického ramene dle nastavených parametrů. S tím je spjato přidání vizualizačního prostředí k zařízení, které původně nebylo v požadavcích od zadavatele. Po dlouhé diskusi bylo rozhodnuto, že možnosti, které přináší HMI zařízení do systému, jsou velmi hodnotné, a proto bylo využito. Ve vizualizačním prostředí jsou zpracovány informativní prvky, ale i akční členy ke přizpůsobení chodu zařízení ve dvou úrovních oprávnění.

Zařízení je již několik měsíců v pracovním nasazení i když zatím jen v testovací podobě. Zařízení odpracovalo již více než 600 provozních hodin, což znamená v přepočtu na hmotnost zpracovaného odpadu cca 150 tun. Pro představu je to více než šest plně naložených kamionů recyklátu, který je připraven pro zpracovatele plastů. Systém funguje mnohem lépe než předešlý nejen z důvodu, že výkony zařízení jsou mnohem vyšší. V určitých případech se výtěžnost zvýšila až o 50 % oproti starému systému. To je dáno nejen novou logikou pro řízení hydraulického ramene, ale taky komfortem obsluhy, jenž se velmi zvýšil. Přesto všechno se stále pracuje na vylepšování softwaru v podobě hlavně monitoringu a sběru dat. Ukazuje se že předávání informací nejen pro obsluhu a údržbu, ale hlavně pro technologa jsou klíčové a dopomáhají k tomu, aby se předcházelo závažným stavům či poruchám. I pro samotnou obsluhu je nový systém velmi užitečný, neboť šetří jejich čas. V průběhu přetížení musela dříve obsluha přistoupit k rozvaděči, přepnout manuální režim a pomocí rotace se pokusit o nápravu. Nyní nový systém udělá v drtivé většině případů všechno sám automaticky a obsluha o tom mnohdy ani neví. Navíc počet přetížení výrazně poklesl a to proto, že systém počítá s přetížením a tím upravuje tlak hydraulického ramene. Dříve byla pevně nastavená závislost mezi tlakem hydraulického ramene a zatížením motoru, do které nebylo možné zasahovat. Tato práce i pro mě osobně byla velkým přínosem. Naučil jsem se zdolávat překážky a řešit zdánlivě neřešitelné úkoly.

Bibliografie

- [1] Berger, Hans. *Automating with STEP 7 in LAD and FBD: programmable controllers SIMATIC S7-300/400*. 3rd rev. and Extended ed, Publicis Corporate Pub, 2005.
- [2] Berger, Hans. *Automating with STEP 7 in STL and SCL: programmable controllers SIMATIC S7-300/400*. 6th rev. and Enlarged ed, Publicis, 2012.
- [3] Page-Jones, Meilir. *Základy objektově orientovaného návrhu v UML*. Grada, 2001.
- [4] Ralston, Anthony, et al., editoři. *Encyclopedia of computer science*. 4th ed, Wiley, 2003.
- [5] Šmejkal, Ladislav, a Marie Martinásková. *PLC a automatizace. 1. díl.*. BEN - technická literatura, 1999.
- [6] Treterová, Eliška. *Návrh a vývoj algoritmů: modul - vývojové diagramy a příkazy jazyka Borland Pascal*. Ostravská univerzita, 2003.
- [7] Wang, Yinglin, Li, Tianrui. *Practical Applications of Intelligent Systems: Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*, Shanghai, China, Dec 2011 (ISKE 2011). Springer, 2011.
- [8] PLC Memory. *AutomationPrimer* [online]. 2016 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://automationprimer.com/2016/08/28/plc-memory/>
- [9] Kadlečík, Pavel. *Možnosti využití programovatelných automatů Simatic řady S7-1200 od firmy Siemens* [online]. Zlín, 2017 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <http://theses.cz/id/23wbqe/>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [10] *What is a Human-Machine Interface or HMI*. Exorint [online]. 2019, 7.2.n. l. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.exorint.com/en/blog/2019/02/07/what-is-a-human-machine-interface-and-do-you-make-or-buy-it>
- [11] *Siemens* [online]. Mnichov: Siemens [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en.html>
- [12] *Puruplast* [online]. Kostelany nad Moravou: Puruplast [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.puruplast.cz/>

Seznam příloh

- (i) PDF
[složka] Obsahuje datasheety a technické příručky.
- (ii) Program_PR1500
[složka] Obsahuje projekt vytvořený ve vývojovém prostředí Step7 – Micro/WIN pro drtič PR1500.
- (iii) Vizualizace
[složka] Obsahuje realizovaný vizualizační systém v prostředí WinCC flexible 2008.
- (iv) Vývojové diagramy
[složka] Obsahuje vývojové diagramy pro určité částí návrhu systému.